

DISEÑO Y MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE  
TÉCNICAS DE DISEÑO PARAMÉTRICO APLICADO EN AGRICULTURA DE  
PRECISIÓN

MARIAN LIZETH ORDÓÑEZ RINCÓN  
LEONARDO RAMIRO CASTRO DÍAZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2020

DISEÑO Y MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE  
TÉCNICAS DE DISEÑO PARAMÉTRICO APLICADO EN AGRICULTURA DE  
PRECISIÓN

MARIAN LIZETH ORDÓÑEZ RINCÓN  
LEONARDO RAMIRO CASTRO DÍAZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Director:

ADOLFO LEÓN ARENAS LANDINEZ  
Especialista en Docencia Universitaria

Codirector:

JOHN FABER ARCHILA DÍAZ  
PhD en Ciencias en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2020

## DEDICATORIA

Quisiera comenzar agradeciendo a mi familia: mi madre Elda Rincón, padre Jesús Ordóñez, hermano Alfonso Ordóñez y mi abuelita Eduvijes Vargas, su apoyo y amor incondicional me han guiado y fortalecido a lo largo de la carrera. Gracias especialmente a ti madre por enseñarme a luchar a pesar de todas las dificultades, gracias por inspirarme con tus sacrificios a ser cada día mejor persona, sé que siempre me dices que soy un *motorcito*, pero el verdadero motor de mi vida eres tú.

A mi amor, mejor amigo, compañero de carrera y de vida, David Solano. Gracias por tu amor, compañía y apoyo en todos estos años, me has hecho crecer como persona y día a día me llenas el corazón de felicidad. Este logro fue posible gracias a ti, me mostraste el camino cuando más lo necesitaba.

A mi rorita, mejor amiga y hermana, no tengo palabras para expresar lo afortunada que me siento por habernos conocido ese día en la escuela. Estos 17 años de amistad han sido tan valiosos para mí que este logro es para ti. Gracias, por todo.

A mis hermanos del alma: Shirley Quintero, Sara Arroyo y Alex Fabián Martínez, infinitas gracias por mostrarme el valor de la amistad verdadera y por su constante acompañamiento, consejo, apoyo y por todos esos momentos de felicidad.

A mi ángel guardián, doña Mariela, gracias por llegar a mi vida en el momento más oportuno y enseñarme que con esfuerzo y trabajo duro todo es posible.

Un agradecimiento especial al profesor Adolfo León por creer en mí como persona y estudiante dándome la oportunidad no sólo de ser su auxiliar, sino de aprender semestre a semestre de toda su experiencia y trayectoria profesional.

Por último, y no menos importante, a mis amigos y futuros colegas Marggy Silva y Daniel Parra. Esta etapa de mi vida fue amena gracias a su compañía, todos los momentos que compartimos, esas largas jornadas de estudio, esfuerzo, dedicación y lágrimas, fueron experiencias inolvidables a su lado.

Todo fue posible gracias a cada uno de ustedes,  
Marian Lizeth Ordóñez Rincón.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mis padres, quienes no solamente estuvieron presentes durante la elaboración de la tesis, sino durante toda la carrera brindándome su apoyo y motivándome, gracias a ellos esto es posible.

Igualmente, al director de proyecto Adolfo León y el codirector John Faber Archila, pues gracias a sus consejos, correcciones y acompañamiento se pudo sacar adelante este trabajo.

A mi gran amigo y compañero de carrera Daniel Stivenn quien desde mi primer día en la universidad estuvo ahí para mí, y hoy en día continúa ayudándome y aportando a mi crecimiento como profesional y como persona.

A mis grandes amigos Luis Hernández, Camilo Ortiz y Jaime Pinzón, que durante toda la carrera estuvieron apoyándome, me vieron crecer y progresar y hasta el día de la sustentación estuvieron ahí a mi lado.

Y finalmente, a mi novia Yuri, quien, a pesar de no haber estado durante todo el proceso, estuvo al final y cada segundo que estuvo a mi lado me ha brindado toda su compañía y apoyo incondicional, y hoy celebra conmigo este triunfo.

Y a todas aquellas personas, amigos y compañeros de carrera que aportaron un granito de arena en esta etapa de mi vida,  
Leonardo Ramiro Castro Díaz.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a nuestro director de proyecto Adolfo León por la asesoría, guía y apoyo brindado durante el desarrollo del presente trabajo. Igualmente, agradecemos enormemente el compromiso de nuestro codirector, el profesor John Faber Archila, por su constante acompañamiento durante el transcurso del proyecto de grado; su conocimiento avanzado en el tema y orientación focalizada nos permite hoy presentar con humildad y respeto este proyecto. Gracias especialmente a usted profesor John Faber porque su orientación nos mantuvo siempre dentro del camino correcto.

Un agradecimiento especial al profesor Fabio Villafrades, propietario de la finca Villa María punto de estudio del presente proyecto, por su tiempo y solidaria orientación en todas las visitas y recorridos realizados. Nos sentimos honrados de haber tenido la oportunidad de trabajar con usted y el profesor John Faber Archila, gracias por ayudarnos a mejorar en el ámbito académico y por acompañarnos durante todo el proceso.

Agradecemos también a Luis Hernández y su padre el topógrafo Julio Hernández, quienes aportaron conocimiento y fueron de gran ayuda a la hora de usar las herramientas para la elaboración de las curvas de nivel del terreno.

Infinitas gracias a todos,  
Marian Lizeth Ordóñez Rincón.  
Leonardo Ramiro Castro Díaz.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	21
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	22
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	22
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA .....	24
1.3 OBJETIVOS.....	25
1.3.1 Objetivo general.....	25
1.3.2 Objetivos específicos .....	25
2. MARCO REFERENCIAL EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO PARA CULTIVOS DE GUANÁBANA.....	27
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE GUANÁBANA.....	27
2.1.1 Generalidades e importancia. ....	27
2.1.2 Beneficios nutricionales.....	28
2.1.2.1 Composición nutricional. ....	29
2.1.3 Características del árbol.....	29
2.1.4 Requerimientos hídricos.....	30
2.1.5 Requerimientos climáticos. ....	31
2.1.6 Requerimientos del suelo.....	32
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO DE APLICACIÓN .....	33
2.2.1 Pluviosidad y Clima. ....	33
2.2.2 Topografía.....	34
2.2.3 Suelo.....	34
2.3 SISTEMAS DE RIEGO .....	35
2.3.1 Tipos de sistemas de riego. ....	35
2.3.2 Ventajas y desventajas de diferentes sistemas de riego.....	37

2.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO DE SISTEMAS DE RIEGO .....	38
2.4.1 Introducción sobre unidades de medida. ....	38
2.4.1.1 Lámina de agua.....	38
2.4.2 Necesidades netas de riego máximas ( $Nn$ ). ....	39
2.4.2.1 Precipitación efectiva ( $Pe$ ). ....	39
2.4.2.2 Evapotranspiración del cultivo (ETC). ....	40
2.4.3 Necesidades totales de riego ( $Nb$ ). ....	41
2.4.3.1 Eficiencia de aplicación ( $Ea$ ).....	41
2.4.4 Dosis neta de riego ( $Dn$ ). ....	41
2.4.4.1 Déficit permisible de manejo (DPM).....	42
2.4.4.2 Agua utilizable por el cultivo (AU).....	42
2.4.5 Dosis bruta de riego ( $Db$ ).....	42
2.4.5.1 Dosis neta ajustada ( $Dnaj$ ). ....	43
2.4.6 Número de emisores ( $ne$ ).....	44
2.4.6.1 Superficie mojada por planta (Superfmojadaxplanta).....	44
2.4.6.2 Superficie mojada por emisor (Superfmojadaxemisor).....	45
2.4.7 Tiempo de aplicación ( $ta$ ).....	47
2.4.8 Disposición de los emisores.....	48
2.5 FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE SISTEMAS DE RIEGO .....	50
2.5.1 Emisores: El gotero.....	51
2.5.1.1 Ecuación de descarga de un gotero ( $Q_{gotero}$ ). ....	52
2.5.1.2 Máxima variación de la presión entre dos emisores ( $\Delta P_{gotero}$ ).....	53
2.5.1.3 Máxima diferencia de presiones entre goteros en la subunidad de riego ( $P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n}$ ).....	53
2.5.2 Tuberías laterales. ....	54
2.5.2.1 Suma de pérdidas de presión por rozamiento en las tuberías ( $\Delta H_u$ ). ....	55

2.5.2.2 Pérdidas de carga en tuberías laterales (hf. lateral).....	55
2.5.2.3 Pérdidas de carga unitaria en tuberías laterales (hf. L).....	55
2.5.2.4 Coeficiente de Christiansen en tuberías laterales (Fc. L).....	57
2.5.2.5 Pérdida de carga admisible en tuberías laterales (hf. lateral. admisible).....	58
2.5.2.6 Presión en el origen de la tubería lateral (PinicialL).....	58
2.5.2.7 Disposición de tuberías laterales y emisores.....	60
2.5.3 Tuberías terciarias o porta-laterales.....	60
2.5.3.1 Pérdidas de carga en tuberías terciarias (hf. terc).....	61
2.5.3.2 Pérdidas de carga unitaria en tuberías terciaria (hf. T).....	61
2.5.3.3 Coeficiente de Christiansen en tuberías terciaria (Fc. T).....	64
2.5.3.4 Pérdida de carga admisible en tuberías terciarias (hf. terc. admisible).....	64
2.5.3.5 Presión en el origen de la tubería terciaria (PinicialT).....	65
2.5.4 Tuberías secundarias y primarias.....	65
2.5.4.1 Pérdidas de carga en tuberías secundarias y primarias (hf).....	65
2.5.4.2 Presión en el origen de las tuberías secundarias y primarias (Pinicial).....	66
2.5.5 Cabezal de riego.....	66
2.5.5.1 Presión necesaria en el origen del cabezal (Pcabezal).....	69
2.5.6 Línea de conducción.....	70
2.5.6.1 Rangos admisibles de velocidades en la línea de conducción.....	72
2.5.6.2 Pérdidas de carga en la línea de conducción.....	73
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO.....	75
3.1 DISEÑO CONCEPTUAL.....	75
3.1.1 Requerimientos según el usuario.....	76
3.1.2 Requerimientos generales, agronómicos e hidráulicos.....	76
3.1.3 Selección del sistema de riego adecuado.....	77
3.1.4 Componentes del sistema de riego.....	80

3.2 DISEÑO EN DETALLE .....	81
3.2.1 Variables y parámetros de diseño.....	82
3.2.2 Diseño agronómico del sistema de riego. ....	82
3.2.2.1 Necesidades netas de riego máximas ( $N_n$ ).....	84
3.2.2.2 Necesidades totales de riego ( $N_b$ ). ....	89
3.2.2.3 Dosis neta de riego ( $D_n$ ).....	89
3.2.2.4 Dosis bruta de riego ( $D_b$ ).....	91
3.2.2.5 Número de emisores por planta ( $n_e$ ). ....	92
3.2.2.6 Tiempo de aplicación ( $t_a$ ). ....	94
3.2.2.7 Disposición de los emisores. ....	94
3.2.3 Diseño hidráulico del sistema de riego.....	94
3.2.3.1 Diseño de la red de distribución. ....	96
3.2.3.2 Gotero. ....	98
3.2.3.3 Tuberías sub laterales (porta-goteros) y laterales (porta-sub laterales). ....	100
3.2.3.4 Tuberías terciarias (porta-laterales). ....	105
3.2.3.5 Comprobaciones adicionales en las Subunidades de Riego.....	107
3.2.3.6 Tuberías secundaria y primaria. ....	108
3.2.3.7 Cabezal de riego. ....	112
3.2.3.8 Línea de conducción (Tubería de transporte).....	113
3.2.4 Síntesis de resultados.....	118
3.2.5 Características económicas. ....	121
4. DESARROLLO DE APLICACIÓN, MODELAMIENTO 3D CAD Y SIMULACIÓN.....	122
4.1 DESARROLLO DE APLICACIÓN EN MICROSOFT EXCEL MEDIANTE VISUAL BASIC PARA APLICACIONES (VBA).....	122
4.1.1 Definición del Alcance. ....	122
4.1.2 Determinación de requerimientos.....	123
4.1.3 Diseño de la aplicación. ....	124

4.1.3.1	Ventana de bienvenida.....	125
4.1.3.2	Hoja 1 – Diseño agronómico. ....	126
4.1.3.3	Hoja 3 – Informe de resultados agronómicos. ....	129
4.1.3.4	Hoja 2 – Diseño hidráulico.....	130
4.1.3.5	Hoja 4 – Informe de resultados hidráulicos. ....	135
4.1.3.6	Hoja 5, 6 y 7 – Informe esquemático de resultados hidráulicos. .	136
4.1.3.7	Hoja 8 – Comparación de disposiciones. ....	137
4.1.3.8	Generar Modelo 3D CAD. ....	137
4.1.4	Desarrollo del software.....	138
4.1.4.1	Hoja 1 – Diseño agronómico. ....	139
4.1.4.2	Hoja 2 – Diseño hidráulico.....	142
4.2	MODELAMIENTO 3D CAD EN SOLIDWORKS MEDIANTE TÉCNICAS DE DISEÑO PARAMÉTRICO .....	147
4.2.1	Fundamentos teóricos de los Modelos paramétricos. ....	147
4.2.1.1	Ecuaciones.....	148
4.2.1.2	Tablas de diseño. ....	151
4.2.2	Terreno del cultivo.....	153
4.2.2.1	Paso 1: Información geográfica.....	154
4.2.2.2	Paso 2: Curvas de nivel.....	154
4.2.2.3	Paso 3: Coordenadas.....	157
4.2.2.4	Paso 4: Modelado 3D CAD. ....	158
4.2.3	Componentes del sistema de riego por goteo.....	160
4.2.3.1	Tubería PE estándar. ....	160
4.2.3.2	Gotero PCJ.....	162
4.2.3.3	Accesorios.....	164
4.2.3.4	Filtro de anillos manual.....	176
4.2.3.5	Tanque de almacenamiento. ....	178
4.2.4	Sistema de riego por goteo. ....	180
4.2.4.1	Generalidades de SOLIDWORKS Routing.....	180

4.2.4.2 Ensamblaje del sistema de riego por goteo con disposición de anillos.....	181
4.3 SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE SOLIDWORKS FLOW SIMULATION .....	182
5. CONCLUSIONES .....	189
BIBLIOGRAFÍA.....	193

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de la pulpa de guanábana.....	29
Tabla 2. Resultados del análisis de suelo finca Villa María.....	35
Tabla 3. Ventajas y desventajas de diferentes sistemas de riego.....	37
Tabla 4. Valores de pérdidas de carga típicos componentes cabezal de riego .....	69
Tabla 5. Rangos de velocidades en tuberías y mangueras .....	72
Tabla 6. Requerimientos según el usuario.....	76
Tabla 7. Requerimientos generales, agronómicos e hidráulicos .....	77
Tabla 8. Grados de impacto para la matriz Q.F.D.....	78
Tabla 9. Matriz Q.F.D.....	78
Tabla 10. Resultados de la matriz Q.F.D. ....	79
Tabla 11. Grados de aceptación para la matriz de Pugh .....	79
Tabla 12. Matriz de Pugh.....	79
Tabla 13. Resultados de la matriz de Pugh .....	80
Tabla 13. Variables y parámetros de diseño.....	82
Tabla 14. Series de datos de valores de precipitación total mensual .....	84
Tabla 15. Precipitación confiable mensual al 70%.....	85
Tabla 16. Precipitación efectiva .....	86
Tabla 17. Series de datos de evapotranspiración de referencia .....	86
Tabla 18. Coeficiente adimensional de cultivo .....	87
Tabla 19. Evapotranspiración del cultivo.....	88
Tabla 20. Necesidades netas de riego máximas .....	88
Tabla 21. Resumen de las propiedades físicas de los suelos.....	90
Tabla 22. Recursos necesarios según la disposición de laterales .....	97
Tabla 23. Datos técnicos de las tuberías Netafim™ PE estándar.....	101
Tabla 24. Coeficiente de Christiansen y Pérdida de carga por fricción en tuberías sub laterales y laterales, modelo 16/4, para Subunidad 1 y 2.....	102
Tabla 25. Pérdidas de carga totales en tuberías sub laterales y laterales, modelo 16/4, para Subunidad 1 y 2.....	102

Tabla 26. Pérdidas de carga admisibles en tuberías sub laterales y laterales para Subunidad 1 y 2.....	103
Tabla 27. Comparación de pérdidas de carga reales y admisibles en tuberías sub laterales y laterales, modelo 16/4, para Subunidad 1 y 2 .....	104
Tabla 28. Presión origen de tuberías sub laterales y laterales, modelo 16/4, para Subunidad 1 y 2.....	104
Tabla 30. Coeficiente de Christiansen y Pérdida de carga por fricción en tuberías terciarias, modelo 25/4, para Subunidad 1 y 2.....	105
Tabla 31. Pérdidas de carga totales en tuberías terciarias, modelo 25/4, para Subunidad 1 y 2.....	105
Tabla 32. Pérdidas de carga admisibles en tuberías terciarias Subunidad 1 y 2 .	106
Tabla 33. Comparación de pérdidas de carga reales y admisibles en tuberías terciarias, modelo 25/4, para Subunidad 1 y 2.....	106
Tabla 34. Presión origen de tuberías terciarias, modelo 25/4, Subunidad 1 y 2 ..	107
Tabla 35. Comparación de sumas de pérdidas de presión por fricción y la máxima variación de la presión entre dos emisores, para Subunidad 1 y 2.....	107
Tabla 36. Porcentaje de variación de caudal para Subunidad 1 y 2 .....	108
Tabla 37. Pérdidas de carga totales en tubería secundaria y primaria. ....	110
Tabla 38. Presión origen de tuberías secundaria y primaria. ....	111
Tabla 39. Pérdidas de carga en el cabezal de riego .....	113
Tabla 40. Presión en el origen del cabezal de riego .....	113
Tabla 41. Pérdidas de carga totales en la línea de conducción .....	114
Tabla 42. Altura mínima de funcionamiento H <sub>1</sub> .....	117
Tabla 43. Síntesis de resultados agronómicos e hidráulicos .....	118
Tabla 44. Características económicas del sistema de riego por goteo .....	121
Tabla 45. Determinación de requerimientos de la Aplicación. ....	123

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Regiones de mayor producción .....	28
Figura 2. Equivalencia entre volumen de precipitación y altura lámina de agua....	39
Figura 3. Forma del bulbo húmedo en suelos de diferente textura .....	46
Figura 4. Forma y tamaño del bulbo húmedo en un suelo franco cuando se aplica la misma cantidad de agua con dos emisores de distinto caudal .....	46
Figura 5. Separación entre emisores que dan bulbos con traslape .....	49
Figura 6. Identificación de los componentes de un sistema de riego .....	50
Figura 7. Curvas características de goteros.....	52
Figura 8. Curva de presiones en un lateral horizontal.....	59
Figura 9. Disposición típica de goteros en tuberías laterales.....	60
Figura 10. Disposición de tuberías con consumos intermedios (a) equidistantes y (b) agrupados.....	62
Figura 11. Esquema de cabezal de riego sin grupo de bombeo. ....	67
Figura 12. Conducción por gravedad en equilibrio estático. ....	71
Figura 13. Conducción por gravedad en equilibrio dinámico. ....	74
Figura 14. Fases en el diseño del sistema de riego .....	75
Figura 15. Identificación de los componentes del sistema de riego .....	80
Figura 16. Etapas en el proceso de diseño en detalle .....	81
Figura 17. Diseño agronómico del sistema de riego .....	83
Figura 18. Diseño hidráulico del sistema de riego .....	95
Figura 19. Esquema representativo del área de cultivo .....	96
Figura 20. Disposición y nomenclatura de las tuberías sub-laterales, laterales y terciarias en (a) Subunidad 1 y (b) Subunidad 2.....	98
Figura 21. Disposición de las tuberías secundaria y primaria .....	109
Figura 22. Componentes del cabezal de riego.....	112
Figura 23. Esquema representativo sistema de distribución.....	115
Figura 24. Altura mínima de funcionamiento $H_1$ .....	117
Figura 25. Informe esquemático de resultados hidráulicos.....	119

Figura 26. Etapas de desarrollo de la Aplicación.....	122
Figura 27. Esquema del alcance de la Aplicación.....	123
Figura 28. Diagrama de flujo de trabajo general de la aplicación. ....	124
Figura 29. Ventana de bienvenida y ventana de contenido en la Aplicación. ....	125
Figura 30. Propuesta visual Hoja 1 - Diseño Agronómico.....	126
Figura 31. Propuesta visual - Resultados necesidades de riego. ....	127
Figura 32. Propuesta visual - Resultados dosis de riego. ....	128
Figura 33. Propuesta visual - Resultados variables generales de riego. ....	129
Figura 34. Propuesta visual - Informe de resultados agronómicos. ....	129
Figura 35. Propuesta visual - Hoja 2 Diseño hidráulico. ....	131
Figura 36. Propuesta visual - Resultados subunidad disposición de anillos. ....	133
Figura 37. Propuesta visual - Resultados unidad disposición de anillos.....	134
Figura 38. Propuesta visual - Informe de resultados hidráulicos disposición de anillos.....	135
Figura 39. Propuesta visual - Informe esquemático de resultados hidráulicos disposición de anillos. ....	136
Figura 40. Propuesta visual - Comparación de disposiciones.....	137
Figura 41. Propuesta visual - Hoja 1 del libro RESULTADOS_PRESOLIDWORKS .....	138
Figura 42. Diagrama de flujo de trabajo en Hoja 1 Diseño agronómico .....	140
Figura 43. Código VBA de cálculo Parte 3 Variables generales de riego. ....	141
Figura 44. Diagrama de flujo de trabajo en la Hoja 2 Diseño hidráulico. ....	143
Figura 45. Código VBA de cálculo Subunidad disposición de anillos. ....	145
Figura 46. Código VBA para abrir y ejecutar Macro “Asistente_Modelo3D” en SolidWorks.....	146
Figura 47. Esquema de los pasos para el Modelado 3D CAD Sistema de riego. ....	147
Figura 48. Proceso de Modelado CAD. ....	148
Figura 49. Acceso al cuadro de diálogo <i>Ecuaciones, variables globales y cotas</i> . ....	149
Figura 50. Cuadro de diálogo <i>Ecuaciones, variables globales y cotas</i> . ....	149

Figura 51. Variables globales, operaciones y ecuaciones en modelo gotero Aries™ de Netafim™ .....	150
Figura 52. Esquema del proceso de creación de <i>Familia de piezas</i> . .....	151
Figura 53. <i>Tabla de diseño</i> gotero Aries™ .....	152
Figura 54. Algunas configuraciones en la <i>Familia de piezas</i> del gotero Aries™ ..	152
Figura 55. <i>Configuration Manager</i> del gotero Aries™ .....	153
Figura 56. Pasos en el proceso de modelado - Terreno del cultivo. ....	153
Figura 57. Información geográfica del terreno en Google Earth Pro. ....	154
Figura 58. Configuración inicial en Global Mapper. ....	155
Figura 59. Archivo .kmz cargado en Global Mapper. ....	156
Figura 60. Exportar datos como formato .DWG en Global Mapper.....	156
Figura 61. Curvas de nivel en AutoCAD. ....	157
Figura 62. Cuadro de diálogo <i>Complementos</i> en SolidWorks.....	158
Figura 63. Superficie del terreno generada mediante <i>ScanTo3D</i> en SolidWorks. .....	159
Figura 64. Modelo 3D CAD del terreno de aplicación cultivo de guanábana. ....	159
Figura 65. Técnicas de diseño paramétrico en Modelado 3D CAD de los componentes del sistema. ....	160
Figura 66. Familia de piezas y Modelo 3D CAD de tubería PE estándar.....	161
Figura 67. Tabla de diseño de tubería PE estándar.....	161
Figura 68. Cuatro configuraciones en la Familia de piezas del Gotero PCJ. ....	162
Figura 69. Múltiples sólidos en la <i>pieza multicuerpo</i> Gotero PCJ. ....	163
Figura 70. Ecuaciones en el Gotero PCJ.....	163
Figura 71. Tabla de diseño del Gotero PCJ.....	164
Figura 72. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Conector en T.....	164
Figura 73. Ecuaciones - Conector en T. ....	165
Figura 74. Tabla de diseño - Conector en T.....	165
Figura 75. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Codo.....	166
Figura 76. Ecuaciones - Codo.....	166
Figura 77. Tabla de diseño – Codo.....	167

Figura 78. Configuración sin adaptador, único y doble adaptador - Válvula. ....	167
Figura 79. Ecuaciones – Válvula.....	168
Figura 80. Tabla de diseño - Válvula. ....	169
Figura 81. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Reductor.....	170
Figura 82. Ecuaciones – Reductor.....	170
Figura 83. Tabla de diseño - Reductor.....	171
Figura 84. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Tapón barb.....	172
Figura 85. Ecuaciones - Tapón barb.....	172
Figura 86. Tabla de diseño - Tapón barb.....	173
Figura 87. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Tapón fast ring. ....	173
Figura 88. Ecuaciones - Tapón fast ring. ....	174
Figura 89. Tabla de diseño - Tapón fast ring .....	174
Figura 90. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Conector de inicio.....	175
Figura 91. Ecuaciones - Conector de inicio.....	175
Figura 92. Tabla de diseño - Conector de inicio.....	176
Figura 93. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Filtro de anillos manual.....	177
Figura 94. Ecuaciones - Filtro de anillo manual. ....	177
Figura 95. Tabla de diseño - Filtro de anillos manual. ....	178
Figura 96. Familia de piezas, modelo 3D CAD tanque con acercamiento a montaje de la válvula.....	178
Figura 97. Ecuaciones - Tanque de almacenamiento.....	179
Figura 98. Tabla de diseño - Tanque de almacenamiento.....	179
Figura 99. Ubicación de complemento <i>SOLIDWORKS Routing</i> . ....	180

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Cálculo de la precipitación confiable .....	202
Anexo B. Gotero PCJ - Extracto catálogo Netafim™ .....	205
Anexo C. Cálculo del Coeficiente de Christiansen .....	207
Anexo D. Cálculo de la pérdida de carga por fricción en tuberías. ....	210
Anexo E. Selección del sistema de filtrado .....	217
Anexo F. Cálculo de las pérdidas de carga localizadas .....	222
Anexo G. Cotización productos Netafim™ .....	228
Anexo H. Propuestas visuales de la aplicación "PROGRAMA DE CÁLCULO – CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA" .....	229
Anexo I. Fundamentos básicos de Visual Basic para Aplicaciones (VBA).....	245
Anexo J. Macros en Excel y SolidWorks de la aplicación "PROGRAMA DE CÁLCULO - CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA" .....	252
Anexo K. Códigos Engineering Equation Solver (EES) para los cálculos agronómicos e hidráulicos .....	329
Anexo L. Creación de componentes de Routing en SolidWorks mediante el asistente <i>Routing Component Wizard</i> .....	408
Anexo M. Procedimiento para la simulación del sistema de riego por goteo mediante <i>SolidWorks Flow Simulation</i> .....	422

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO Y MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE TÉCNICAS DE DISEÑO PARAMÉTRICO APLICADO EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN\*

**AUTORES:** MARIAN LIZETH ORDÓÑEZ RINCÓN  
LEONARDO RAMIRO CASTRO DÍAZ\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Diseño paramétrico, sistemas de riego, modelado 3D CAD, agua.

### DESCRIPCIÓN:

Este documento tiene como objetivo el diseño y modelamiento 3D CAD de un sistema de riego capaz de asegurar la producción del cultivo de guanábana en la finca Villa María localizada en el municipio de Lebrija, garantizando el uso sostenible de los recursos hídricos que se encuentran a disposición de la comunidad, mediante la implementación de técnicas del diseño paramétrico aplicado en la agricultura de precisión. El funcionamiento adecuado del sistema de riego por goteo depende de la uniformidad en el suministro de agua a los guanábanos. A través del desarrollo de una aplicación titulada “PROGRAMA DE CÁLCULO – CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA” en Microsoft Excel mediante VBA (Visual Basic para Aplicaciones) se permite parametrizar y automatizar los cálculos agronómicos e hidráulicos en el diseño del sistema de riego por goteo para las tres disposiciones principales de goteros recomendadas en los cultivos de guanábana: anillos, doble lateral y zigzag. La disposición determinada es la de anillos y cuenta con 188 goteros auto compensados, 47 tuberías sublaterales y 14 tuberías laterales de diámetro nominal 16mm; 2 tuberías terciarias, una línea secundaria y una tubería primaria de diámetro nominal 25mm; una tubería de transporte de diámetro nominal 32mm y un tanque de almacenamiento de agua con capacidad de 10000 litros. La altura mínima de funcionamiento para que el sistema de riego opere por gravedad es de 19,8 metros.

---

\*Trabajo de grado.

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Adolfo León Arenas Landínez. Codirector: John Faber Archila Díaz.

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN AND MODELING OF AN IRRIGATION SYSTEM USING PARAMETRIC DESIGN TECHNIQUES APPLIED IN PRECISION AGRICULTURE\*

**AUTHORS:** MARIAN LIZETH ORDÓÑEZ RINCÓN  
LEONARDO RAMIRO CASTRO DÍAZ\*\*

**KEYWORDS:** Parametric design, irrigation systems, 3D CAD modeling, water.

### DESCRIPTION:

This document aims to design and 3D CAD modeling of an irrigation system capable of ensuring the production of soursop cultivation at the Villa Maria farm located in the municipality of Lebrija, ensuring the sustainable management of water resources available to the community, through the implementation of parametric design techniques applied in precision agriculture. The proper functioning of the drip irrigation system depends on the uniformity of the water supply to the soursop. The development of an application called "CALCULATION PROGRAM - FINCA VILLA MARIA Soursop Crop" in Microsoft Excel using VBA (Visual Basic for Applications) allows parameterizing and automating the agronomic and hydraulic calculations in the design of the drip irrigation system for the main three dripper arrangements recommended in soursop crops: rings, double lateral and zigzag. The determined disposition is that of rings and has 188 self-compensating drippers, 47 sublateral pipes and 14 lateral pipes of 16 mm nominal diameter; 2 tertiary pipes, a secondary line and a primary pipe of 25 mm nominal diameter; a transport pipe of 32 mm nominal diameter and a water storage tank with 10,000 liters capacity. The minimum operating height for the irrigation system to operate by gravity is 19.8 meters.

---

\*Bachelor Thesis.

\*\*Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Adolfo León Arenas Landinez. Codirector: John Faber Archila Díaz.

## INTRODUCCIÓN

A medida que la población mundial crece se aumenta la demanda de alimentos, derivando en la necesidad de ampliar la producción agrícola que está ligada a un mayor consumo de recursos hídricos: más de la mitad del agua que es extraída en el planeta se ocupa en la agricultura.

En Colombia, aunque el campo se consolidó como uno de los principales motores de la economía nacional, gran parte de la población campesina agricultora no posee los recursos suficientes para potencializar la capacidad de producción y disminuir el consumo excesivo de agua. La finca Villa María, productora de aproximadamente seis toneladas de guanábana al año, localizada en la vereda La Puente del municipio de Lebrija, Santander, no es la excepción. Debido a la ausencia de lluvias en la región, la represa Piedras Negras una de las principales fuentes de abastecimiento ha regulado la distribución del recurso hídrico.

Por lo tanto, para mejorar el rendimiento de la producción agrícola entregando la cantidad de agua indispensable a cada planta dependiendo de sus necesidades específicas se hace uso de la agricultura de precisión. Así mismo, para garantizar el suministro efectivo del recurso hídrico, las técnicas del diseño paramétrico proporcionan la capacidad de concebir sistemas de riego parametrizados en función de los requerimientos agronómicos e hidráulicos del cultivo.

Este proyecto es la respuesta a la necesidad de fomentar la cultura de la racionalización y aprovechamiento de los recursos hídricos en las actividades agrícolas de la finca Villa María a partir del diseño y modelamiento de un sistema de riego, capaz de asegurar la producción de guanábana, mediante la implementación de técnicas de diseño paramétrico aplicado en la agricultura de precisión (AP). Adicionalmente, promover la transferencia de tecnologías mediante la creación de una aplicación que automatice el proceso de cálculo en el diseño del sistema de riego, con el fin de entregar información relevante al usuario.

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La competitividad creciente por los recursos hídricos a través de los años prevé un fortalecimiento en la cultura de la racionalización. Debido a esto, se vuelve imprescindible abordar el tema del agua en la agricultura. "En promedio, en la agricultura se ocupa el 70% del agua que se extrae en el mundo"<sup>1</sup>; es decir, la agricultura de regadío corresponde a un mayor consumo del recurso, y a su vez "aporta el 40% de la producción total de alimentos en todo el mundo"<sup>2</sup>.

En el futuro, el aumento de la población del planeta derivará en un incremento en la demanda de alimentos, estimándose la necesidad de ampliar la producción agrícola en un 70% para el año 2050<sup>3</sup>. Dicho aumento, requiere trabajar en el mejoramiento de las fuentes de crecimiento de la producción de cultivos: aprovechando la cantidad de tierras disponibles para la labranza, reasignando la ración de agua destinada a esta labor, y, centrando la atención en el rendimiento.

Una de las alternativas más idóneas para mejorar el rendimiento de la producción agrícola, se centra en la agricultura de precisión (AP). Este tipo de agricultura se enfoca en las necesidades específicas de cada planta en el cultivo, potencializando la capacidad de producción y disminuyendo el uso excesivo de agua en los sistemas de riego. Adicionalmente, las técnicas de diseño paramétrico proporcionan una opción innovadora, capaz de concebir sistemas de riego parametrizados en función de los requerimientos físicos del terreno y el cultivo.

---

<sup>1</sup> BANCO MUNDIAL. El agua en la agricultura. [En línea]. (Recuperado en 11 junio 2019). Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#1>

<sup>2</sup> Ibid.

<sup>3</sup> Ibid.

En Colombia, el campo "se consolidó como el motor de la economía nacional y volvió a confirmar que la vocación del país está en el sector agropecuario (...). Según las cifras logradas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el crecimiento del PIB agropecuario entre 2010 y 2017 fue de 25%"<sup>4</sup>. Sin embargo, gran parte de la población campesina agricultora no cuenta con los recursos necesarios para invertir en capacitaciones o tecnologías que les ayuden a ser lo suficientemente competitivos en el mercado nacional e internacional.

Una de estas zonas problemáticas es Lebrija, municipio del departamento de Santander, donde la actividad agrícola y pecuaria genera ingresos correspondientes a cerca del 80%. La agricultura en la región es muy variada, centrandose su vocación principal en las frutas (destacándose la piña, mandarina, limón, naranja, maracuyá, guanábana y aguacate) a pesar de las severas limitaciones en el desarrollo de los cultivos debido al tipo de suelo y las características climáticas de la región<sup>5</sup>.

La escasez de agua en el municipio de Lebrija es la principal limitación en la agricultura. La ausencia de lluvias en la región pone en peligro la represa Piedras Negras, una de las fuentes hídricas más importantes para el abastecimiento del recurso<sup>6</sup>. Debido a esto, la regulación e intentos de racionamientos han puesto en riesgo las actividades agrícolas de la zona. La necesidad de garantizar un adecuado manejo del recurso hídrico propone fortalecer el uso sostenible del agua mediante la implementación de técnicas de diseño paramétrico aplicado en la agricultura de precisión en diseño de sistemas de riego.

---

<sup>4</sup> MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR. El agro colombiano se consolidó como el motor de la economía nacional. [En línea]. En: Noticias. Bogotá D.C. 2018. (Recuperado en 11 junio 2019). Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-agro-colombiano-se-consolid%C3%B3-como-el-motor-de-la-econom%C3%ADa-nacional.aspx>

<sup>5</sup> MUNICIPIO DE LEBRIJA. Economía. [En línea]. 2016. (Recuperado en 11 junio 2019). Disponible en: <http://www.lebrija-santander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>

<sup>6</sup> ALBIS PÉREZ, Ingrid P. Se acaba el agua en Lebrija, Santander. [En línea]. En: Vanguardia Liberal. Bucaramanga. 2018. (Recuperado en 11 junio 2019). Disponible en: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/giron/se-acaba-el-agua-en-lebrija-santander-OCVL453409>

## 1.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia, el cultivo de guanábana para producción alcanza un número total de seis mil cuatrocientos ochenta y una hectáreas (6481 [ha]) sembradas. Está posicionado como el décimo cultivo frutal de mayor presencia a nivel nacional y se estiman exportaciones de cuatrocientos dieciséis mil kilogramos (416000 [kg]) aproximadamente<sup>7</sup>. El departamento de Santander es el segundo principal productor del país con un aproximado de diez mil setecientos sesenta y cuatro toneladas (10764 [ton]) al año<sup>8</sup>.

A la fecha, el municipio de Lebrija es el segundo productor de guanábana en el departamento de Santander con una producción de mil quinientos noventa y seis toneladas (1596 [ton]) al año<sup>9</sup>. La guanábana se caracteriza por su alto contenido de agua, un aproximado de 80,62%; en consecuencia, "la falta de agua al inicio de la fructificación puede causar perjuicios en el desarrollo de la fruta. Se recomienda irrigar con 10-20 litros de agua por semana para impedir el desprendimiento"<sup>10</sup>.

Debido a las limitaciones en el acceso al recurso hídrico en el municipio de Lebrija, diversas zonas productoras de guanábana de la región se ven en la necesidad de invertir en formas alternativas de obtención del agua (compra, almacenamiento de

---

<sup>7</sup> CASTILLA, José David. Cultivos de guanábana para producción suman casi 5000 hectáreas. [En línea]. Agronegocios. Bogotá D.C.: La República. 2019. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <https://www.agronegocios.co/agricultura/cultivos-de-guanabana-para-produccion-suman-casi-5000-hectareas-2857876>

<sup>8</sup> LÓPEZ, Joaquín Mauricio. La guanábana nacional llegaría a 60000 toneladas producidas al cierre de este año. [En línea]. Agronegocios. Bogotá D.C.: La República. 2019. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-guanabana-nacional-llegaria-a-60000-toneladas-producidas-al-cierre-de-este-ano-2844095>

<sup>9</sup> MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR. Reporte: Área, producción, rendimiento y participación municipal en el departamento por cultivo. [En línea]. En: Agronet. 2018. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>

<sup>10</sup> RODRIGUEZ, Antonio. et al. Una mirada al manejo del cultivo de la guanábana (*Annona muricata* L.). [En línea]. En: El fruticultor. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. La Habana.: Revista CitriFrut, Vol. 27, No. 1. 2010. (Recuperado en 05 octubre 2019). Disponible en: [http://www.actaf.co.cu/revistas/revista\\_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA10\\_27\\_1\\_1\\_%202010.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA10_27_1_1_%202010.pdf)

aguas lluvia, entre otros). Una de estas zonas en constante limitación es la finca Villa María, localizada en la vereda La Puente, productora de aproximadamente seis toneladas de guanábana al año.

Por consiguiente, se hace necesario el diseño y modelamiento de un sistema de riego capaz de asegurar la producción de los cultivos de guanábana en la finca Villa María localizada en el municipio de Lebrija, garantizando el uso sostenible de los recursos hídricos que se encuentran a disposición de la comunidad, mediante la implementación de las técnicas del diseño paramétrico aplicado en la agricultura de precisión.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar y modelar un sistema de riego mediante la implementación de técnicas de diseño paramétrico aplicado en agricultura de precisión contribuyendo al aprovechamiento racional de los recursos naturales mediante la conservación del agua y aprovechando la transferencia de tecnologías.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

--- Estructurar información pertinente a requerimientos de diseño y selección de sistemas de riego, agricultura de precisión y técnicas de diseño paramétrico en software CAD.

--- Desarrollar el modelo 3D en SolidWorks de los componentes de un sistema de riego aplicando técnicas de diseño paramétrico tales como familias de piezas, sistemas de ecuaciones y tablas de diseño teniendo en cuenta los parámetros hidráulicos.

--- Estudiar y definir las características físicas y geográficas del terreno de cultivo de guanábana seleccionado para el sistema de riego de la finca Villa María en el municipio de Lebrija.

--- Diseñar el sistema de riego en función de las condiciones topográficas de la finca Villa María y los requerimientos del cultivo de guanábana, y evaluar su funcionamiento mediante simulaciones y estudios realizados en SolidWorks.

--- Desarrollar una aplicación en Microsoft Excel mediante VBA (Visual Basic para Aplicaciones) que automatice el proceso de cálculo en el diseño del sistema de riego con la finalidad de transmitir información relevante al usuario.

## 2. MARCO REFERENCIAL EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO PARA CULTIVOS DE GUANÁBANA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE GUANÁBANA

**2.1.1 Generalidades e importancia.** La guanábana (*Annona muricata L.*) es un árbol frutal que cuenta con plantaciones en el Caribe, Centroamérica y Suramérica. En el Caribe principalmente en Bermuda, Bahamas, Cuba, República Dominicana, Granada y Puerto Rico; en Centroamérica en el Sur de México y Costa Rica; y, en Suramérica se destacan Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. También se produce en el sur este de China, Vietnam, Australia, Nueva Zelanda, África Occidental y en general, en todo el cinturón ecuatorial<sup>11</sup>.

El cultivo de guanábana en Colombia para producción alcanza un total de seis mil cuatrocientos ochenta y una hectáreas sembradas (6481 [ha]). Se posiciona como el décimo cultivo frutal de mayor presencia a nivel nacional, y se estima que al año se exportan cuatrocientos dieciséis mil kilogramos (416000 [kg]) de guanábana, equivalentes a un millón de dólares de Estados Unidos (US\$ 1 [millón])<sup>12</sup>.

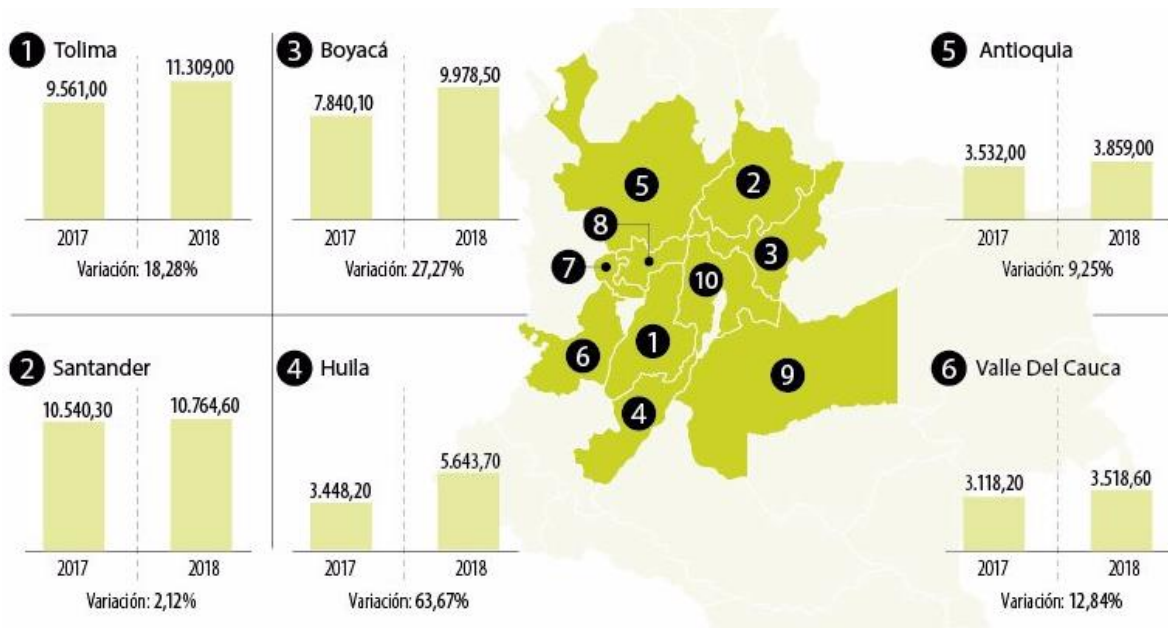
En Colombia, las principales zonas de cultivo (véase Figura 1) se concentran en los departamentos del Tolima, Boyacá, Santander, Antioquia, Huila y el Valle del Cauca. La producción de la región de Santander fue de diez mil setecientos sesenta y cuatro toneladas (10764 [ton]), con una variación anual baja de 2,12% (del año 2017 al 2018).

---

<sup>11</sup> MÁRQUEZ CARDOZO, Carlos Julio. Caracterización fisiológica, físico-química, reológica, nutraceútica, estructural y sensorial de la guanábana. Tesis Doctoral en Ciencias, mención en Ciencias Agronómicas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2009, 274 p.

<sup>12</sup> CASTILLA, José David. Cultivos de guanábana para producción suman casi 5000 hectáreas. [En línea]. Agronegocios. Bogotá D.C.: La República. 2019. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <https://www.agronegocios.co/agricultura/cultivos-de-guanabana-para-produccion-suman-casi-5000-hectareas-2857876>

Figura 1. Regiones de mayor producción



Fuente: LÓPEZ, Joaquín Mauricio. La guanábana nacional llegaría a 60000 toneladas producidas al cierre de este año. [En línea]. Agronegocios. Bogotá D.C.: La República. 2019. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-guanabana-nacional-llegaria-a-60000-toneladas-producidas-al-cierre-de-este-ano-2844095>

### 2.1.2 Beneficios nutricionales.

La guanábana posee características nutricionales que han sido objeto de estudio de diferentes investigaciones, destacándose el campo de la salud. Los principales beneficios están íntimamente relacionados con la composición química del fruto:

--- Vitamina C (contiene 20 [mg] por cada 100 [g]): Previene enfermedades infecciosas, virales, fortalece el sistema inmunológico ayudando al organismo a mantenerse en buen estado. De igual forma, gracias al alto contenido de vitamina C, la guanábana se convierte en un antioxidante muy eficaz que facilita la eliminación de toxinas protegiendo el hígado y la vesícula biliar.

--- Calcio (contiene 14 [mg] por cada 100 [g]): Fortalece el sistema óseo y dental.

--- Vitamina B (contiene 15,33 [mg] por cada 100 [g]): Aporta efectos energizantes y ayuda en el funcionamiento del sistema nervioso<sup>13</sup>.

**2.1.2.1 Composición nutricional.** Según Miranda, L.<sup>14</sup> la composición proximal nutricional de la pulpa depende principalmente del lugar de origen. Sin embargo, en la mayoría de las guanábanas coinciden los datos presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición nutricional de la pulpa de guanábana

Nutriente	[gr/100gr] de Fruta fresca	Nutriente	[gr/100gr] de Fruta fresca
Humedad	80,62	Azúcares totales	15,63
Fibra	1,63	Potasio	48,5 [mg]
Cenizas	0,73	Sodio	23 [mg]
Proteína	1,22	Magnesio	23,9 [mg]
Almidón	1,62	Fósforo	26 [mg]
Vitamina C	0,021	Hierro	0,47 [mg]

Fuente: MIRANDA LASPRILLA, Diego. Manejo agronómico del cultivo de guanábana. [En línea]. 1995. (Recuperado en 05 octubre 2018). Disponible en: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/21323/77727\\_59875.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/21323/77727_59875.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**2.1.3 Características del árbol.** Según el Instituto Colombiano Agropecuario ICA<sup>15</sup> los frutales de guanábana son árboles que pueden alcanzar hasta diez metros (10 [m]) de altura, caracterizados por una copa de forma cónica, hojas de color verde oscuro en el envés y verde brillante en el haz.

<sup>13</sup> HUSQVARNA. Guanábana, la especie tropical con propiedades saludables. [En línea]. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <https://www.todohusqvarna.com/blog/guanabana/>

<sup>14</sup> MIRANDA LASPRILLA, Diego. Manejo agronómico del cultivo de guanábana. [En línea]. 1995. (Recuperado en 05 octubre 2018). Disponible en: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/21323/77727\\_59875.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/21323/77727_59875.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

<sup>15</sup> INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. Problemas fitosanitarios del cultivo de Guanábana *Annona muricata* L. en temporada invernal en el norte del departamento de Bolívar. [En línea]. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <https://www.ica.gov.co/getattachment/8543e9a0-a5bf-4228-9f0c-fb50b009eaff/Problemas-fitosanitarios-del-cultivo-de-Guanabana.aspx>

El árbol es de raíz superficial distribuida en los primeros sesenta centímetros (60 [cm]) de profundidad del suelo, dependiendo de la profundidad efectiva del suelo. Cuando no existen impedimentos, una planta de siete a ocho (7 – 8) años, extiende sus raíces hasta una distancia radial horizontal del tronco de tres a cuatro metros (3 – 4 [m])<sup>16</sup>.

"El sistema radicular es pivotante con un anclaje ramificado y fuerte. El sistema radicular absorbente es poco profundo y fibroso"<sup>17</sup>. Generalmente, las flores nacen a lo largo del tallo, constituyendo el mayor potencial productivo del árbol debido a que forman cojines florales en el tronco y ramas gruesas.

**2.1.4 Requerimientos hídricos.** La respuesta del cultivo de la guanábana en función de las relaciones hídricas involucra principalmente el rendimiento y la productividad. "Algunos estudios realizados han determinado efectos del suministro de volúmenes de agua sobre los parámetros de magnitud de la planta"<sup>25</sup> como, por ejemplo, la intervención del riego en el grosor y altura del tallo. Según Doorenbos, J. y Pruitt, W. citados por CORPOICA los requerimientos hídricos son definidos como "la lámina de agua necesaria para satisfacer la pérdida de agua a través de la evapotranspiración, de un cultivo libre de enfermedades, que crece en áreas grandes (...) para alcanzar su máximo potencial de producción"<sup>26</sup>.

---

<sup>16</sup> CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, CORPOICA. Manejo integrado del cultivo de guanábana: innovaciones tecnológicas. El espinal: Publicación Corpoica, p.56-57. [En línea]. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6765>

<sup>17</sup> COBOS MARLÉS, Sergio Esteban. Evaluación de técnicas y sustancias inductoras sobre la retención de las estructuras florales y productivas del guanábano en una plantación de Santo Domingo de los Colorados. Tesis de grado en Ingeniería Agropecuaria. Santo Domingo: Escuela Politécnica del Ejército. Carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias, 2009, 100p.

<sup>25</sup> CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, CORPOICA. Op cit., p.54.

<sup>26</sup> CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, CORPOICA. Manejo integrado del cultivo de guanábana: innovaciones tecnológicas. El espinal: Publicación Corpoica, p.57. [En línea]. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6765>.

--- **Riego:** Los cultivos de guanábana requieren suficiente agua para realizar satisfactoriamente sus funciones. "Se recomienda en el momento del trasplante 15 a 20 litros de agua por planta"<sup>27</sup>. Así mismo, garantizar el nivel de humedad en los dos primeros años donde la planta tiene gran actividad de crecimiento. En el inicio de la fructificación, la falta de agua puede afectar negativamente el crecimiento de la fruta (que posee aproximadamente 80% de agua). "Se recomienda irrigar con 10 a 20 litros de agua por semana para impedir el desprendimiento de las frutas. El riego debe estar dirigido a la raíz de la planta"<sup>28</sup>. Sin embargo, esto es sólo una aproximación para climas templados. En condiciones secas la cantidad de agua recomendada para la irrigación aumenta.

**2.1.5 Requerimientos climáticos.** Según Rodríguez, A. et al<sup>29</sup> el desarrollo favorable de la guanábana depende principalmente de los siguientes requerimientos climáticos:

--- **Zonas de cultivo donde la temperatura se encuentre entre 21 [°C] a 30 [°C]:** Si la temperatura es de 20 – 24[°C] con días cortos se induce la floración, pero si es menor a 20 [°C] se producen quemaduras en las flores y pérdida de viabilidad del polen. Por otra parte, temperaturas superiores a 30 [°C] provocan la caída de los frutos durante su crecimiento. Debido a la sensibilidad extrema de las flores respecto a las

---

<sup>27</sup> RODRIGUEZ, Antonio. et al. Una mirada al manejo del cultivo de la guanábana (*Annona muricata* L.). [En línea]. En: El fruticultor. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. La Habana.: Revista CitriFrut, Vol. 27, No. 1. 2010. (Recuperado en 05 octubre 2019). Disponible en: [http://www.actaf.co.cu/revistas/revista\\_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA10\\_27\\_1\\_%202010.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA10_27_1_%202010.pdf)

<sup>28</sup> Ibid.

<sup>29</sup> Ibid.

variaciones de temperatura, es importante prestar atención en la etapa de floración del desarrollo reproductivo.

"Los frutos que se desarrollan durante los meses donde las temperaturas alcanzan de 22 [°C] a 26 [°C] alcanzan mayor tamaño, cuando las temperaturas son menores de 19 [°C] los frutos se desarrollan poco y el periodo de crecimiento es prolongado"<sup>30</sup>.

--- **Evitar periodos de temperatura y humedad relativa baja:** Debido a que promueven comportamiento caducifolio generando defoliación en las copas de los árboles.

--- **Precipitaciones adecuadas para el cultivo de 1300 – 1500 [mm] anuales:** Aunque el árbol sea tolerante a la sequía, es principalmente afectado por la falta de humedad, que interrumpe la floración y provoca la caída de hojas. La guanábana puede crecer en condiciones de mucha humedad; sin embargo, zonas con humedad relativa alta y nubosidad frecuente, facilitan las enfermedades fitosanitarias en el árbol (viéndose atacados principalmente los frutos y flores).

--- **Humedad relativa por encima del 80%:** Para asegurar una buena polinización y producción de frutos<sup>31</sup>.

**2.1.6 Requerimientos del suelo.** En general, el desarrollo del cultivo de la guanábana es ampliamente influenciado por las propiedades físicas del suelo:

---

<sup>30</sup> RODRIGUEZ, Antonio. et al. Una mirada al manejo del cultivo de la guanábana (*Annona muricata* L.). [En línea]. En: El fruticultor. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. La Habana.: Revista CitriFrut, Vol. 27, No. 1. 2010. (Recuperado en 05 octubre 2019). Disponible en: [http://www.actaf.co.cu/revistas/revista\\_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA10\\_27\\_1\\_%202010.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA10_27_1_%202010.pdf)

<sup>31</sup> INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. Problemas fitosanitarios del cultivo de Guanábana *Annona muricata* L. en temporada invernal en el norte del departamento de Bolívar. [En línea]. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <https://www.ica.gov.co/getattachment/8543e9a0-a5bf-4228-9f0c-fb50b009eaff/Problemas-fitosanitarios-del-cultivo-de-Guanabana.aspx>

densidad aparente, infiltración básica, circulación del agua, disponibilidad de nutrientes, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, entre otros<sup>32</sup>.

De forma específica, "la guanábana presenta un abundante sistema radicular por lo que se deben seleccionar suelos sueltos, bien drenados y profundos, con un pH ligeramente ácido entre 5,5 – 6,5 (...) Se debe evitar su cultivo en suelos calcáreos o los extremadamente arcillosos"<sup>33</sup>.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO DE APLICACIÓN

**2.2.1 Pluviosidad y Clima.** El terreno de aplicación del cultivo de guanábana se encuentra ubicado en el municipio de Lebrija. Municipio que se caracteriza por ser seco principalmente en los trimestres comprendidos entre diciembre y febrero, y, junio y agosto; siendo enero y diciembre los de menor precipitación, con un promedio de 73 [mm]. De igual forma, es un municipio que presenta serios problemas de racionamiento de agua a causa del difícil acceso a las zonas rurales donde se desarrollan las labores agrícolas.

"Esta ubicación está clasificada como Af por Köppen y Geiger. La temperatura media anual es 23.1 ° C en Lebrija. La precipitación media aproximada es de 1280 mm"<sup>34</sup>. Es decir, una zona cálida con temperaturas que nunca caen por debajo de los 18°C y con precipitaciones anuales superiores a la evaporación de la zona. A pesar de esto, dichas precipitaciones no se distribuyen uniformemente debido a la

---

<sup>32</sup> CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, CORPOICA. Manejo integrado del cultivo de guanábana: innovaciones tecnológicas. El espinal: Publicación Corpoica, p.55. [En línea]. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6765>

<sup>33</sup> RODRIGUEZ, Antonio. et al. Una mirada al manejo del cultivo de la guanábana (*Annona muricata* L.). [En línea]. En: El fruticultor. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. La Habana.: Revista CitriFrut, Vol. 27, No. 1. 2010. (Recuperado en 05 octubre 2019). Disponible en: [http://www.actaf.co.cu/revistas/revista\\_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA10\\_27\\_1\\_%202010.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA10_27_1_%202010.pdf)

<sup>34</sup> MERKEL, Alexander. Clima Lebrija. [En línea]. Oedheim, Alemania. (Recuperado en 17 de septiembre del 2019). Disponible en internet: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/santander/lebrija-6246/>.

gran influencia de los vientos cálidos provenientes de los cañones de Lebrija y Sogamoso.

**2.2.2 Topografía.** El cultivo de guanaba se encuentra localizado en la finca Villa María ubicada en la vereda La Puente de Lebrija, Santander. Vereda que se posiciona aproximadamente a 1180 metros sobre el nivel del mar, zona de “difícil manejo debido, principalmente, a las limitaciones que imponen las condiciones topográficas, con relieve escarpado o altas pendientes, al uso de la maquinaria agrícola y al riego”<sup>35</sup>. Sin embargo, la finca cuenta con un cultivo de guanábana en un terreno cuya pendiente se encuentra entre 8 y 10 [%] clasificándolo así, como un “terreno ondulado o ligeramente quebrado con pendiente entre 7 y 15 [%]”<sup>36</sup> según la clasificación del IGAC\*.

**2.2.3 Suelo.** A continuación, se presentan algunas características del suelo donde se da el cultivo de guanábana en la finca Villa María:

--- Porcentaje de acidez alto de 4,5.

--- Suelo seco y arcilloso.

--- Altitud de 1180 m.s.n.m.

En contacto directo con el propietario de la finca Villa María se obtiene información correspondiente al estado inicial del suelo previo a las actividades de siembra y cosecha del cultivo de guanábana. La Tabla 2 recopila y muestra los resultados referentes a la composición del suelo en el estudio realizado.

---

<sup>35</sup> LASSO ESPINOSA, Luis D. Ministerio de Agricultura: Zonificación Agroclimática de los cultivos de mayor importancia económica del territorio colombiano. [En línea]. Bogotá, Colombia [1991]. (Recuperado en 21 de septiembre del 2019). Disponible en internet: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3817/1/010.pdf>.

<sup>36</sup> ALCALDÍA DE LEBRIJA, SANTANDER. EOT: Documento resumen. [En línea]. Lebrija, Santander [2003]. (Recuperado en 21 de septiembre de 2019). Disponible en: <http://www.lebrija-santander.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionYControl/Resumen%20EOT%20final.pdf>.

\* IGAC, instituto Geográfico Agustín Codazzi. Entidad encargada de producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia.

Tabla 2. Resultados del análisis de suelo finca Villa María

Resultado del Análisis de Suelo				
Prueba	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura
1	64	20	16	Franco-arenoso
2	64	18	18	Franco-arenoso
3	66	18	16	Franco-arenoso

## 2.3 SISTEMAS DE RIEGO

Los sistemas de riego son un conjunto de componentes que permiten aplicar de manera uniforme y oportuna el agua a un área de plantación destinada al cultivo, posibilitando racionalizar el recurso hídrico disponible si es seleccionado adecuadamente.

**2.3.1 Tipos de sistemas de riego.** Los sistemas de riego se pueden clasificar de dos formas: según la energía requerida para la captación y según la forma como distribuyen el agua. Dentro de la primera clasificación se encuentra:

- **Gravedad:** El agua se transporta a partir de la energía cedida por el diferencial de altura entre el punto de captación y el punto de distribución.
- **Bombeo:** El agua es transportada por medio de un sistema de bombeo debido a que el punto de captación se encuentra a una altura insuficiente o menor del punto de distribución (área del cultivo), y no es posible distribuirla con la presión deseada.
- **Mixto:** Este tipo de sistemas se componen de una etapa inicial de captación por bombeo y una etapa final de distribución por gravedad, o viceversa, según sea el caso.

Los sistemas de riego clasificados según la forma como distribuyen el agua son:

--- **Inundación:** “El agua es distribuida superficialmente sobre el terreno de regadío, inundándolo totalmente o en partes”<sup>37</sup>. El riego por inundación se puede aplicar de dos formas: inundación completa y parcial, las cuales se realizan mediante la inundación de surcos o canales en los cuales están ubicados los cultivos. Los cultivos tolerantes a la inundación son escasos. El ejemplo más común para aplicar este sistema es el cultivo de arroz.

--- **Aspersión:** El riego por aspersión es quizá uno de los que más se emplea en la práctica gracias a su simplicidad, su inversión inicial media y la gran cantidad de cultivos en los cuales se puede usar. Como su nombre lo indica, se emplea un aspersor que al girar simula una precipitación natural sobre las plantas que se encuentran alrededor. Sin embargo, su consumo de agua es alto, pues el agua que dispersa también riega las zonas donde no hay plantas<sup>38</sup>.

--- **Microaspersión:** Es muy similar al sistema de riego por aspersión, pero la diferencia yace en que sus aspersores son más pequeños de tal forma que el riego se hace a menos distancia y de forma más localizada<sup>39</sup>.

--- **Goteo:** El sistema de riego por goteo es el más eficiente de todos. Aplica el riego de forma localizada y directa a las raíces de los cultivos, por lo cual, la pérdida del recurso hídrico en estos sistemas es mínima. El riego se da mediante la instalación de tuberías o mangueras que van por el suelo y pasan por cada uno de los árboles del cultivo entregando la dosis de agua que necesitan a través de dosificadores o goteros<sup>40</sup>. No obstante, esto

---

<sup>37</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. El desarrollo del microrriego en américa central. [En línea]. En: Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado, p. 29. (Recuperado en 21 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/aj470s/aj470s02.pdf>

<sup>38</sup> Ibid., p. 30.

<sup>39</sup> Ibid., p. 30.

<sup>40</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. El desarrollo del microrriego en américa central. [En línea]. En: Factores

significa que la inversión inicial para poder instalar un sistema de riego por goteo es mayor que en los demás sistemas de riego, pues también requiere del uso de filtros para garantizar que la pureza el agua sea tal, que los goteros no se obstruyan y permitan el flujo libre del agua. También se caracteriza por su bajo consumo energético, pues tiene la capacidad de funcionar por gravedad con diferencias de alturas bajas.

**2.3.2 Ventajas y desventajas de diferentes sistemas de riego.** El análisis de ventajas y desventajas se lleva a cabo mediante una comparación de la respuesta de distintos sistemas de riego a criterios funcionales de sostenibilidad como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de diferentes sistemas de riego.

Criterios funcionales de sostenibilidad	Sistema de Riego		
	Inundación	Aspersión	Goteo
Eficiencia de riego	Baja	Media	Alta
Inversión inicial	Baja	Media	Alta
Riesgo de dispersión de plagas	Alta	Alta	Baja
Mano de obra necesaria para operar	Alta	Media	Baja
Consumo energético para distribuir el agua	Bajo	Alto	Medio
Pérdidas en el consumo de agua	Alto	Medio	Bajo
Calidad requerida para el agua de riego	Baja	Media	Alta
Riesgos ambientales	Alto	Medio	Bajo
Eficiencia en zonas de alta pendiente	Baja	Media	Alta
Eficiencia al operar por gravedad	Alta	Baja	Alta
Control de consumo de agua	Bajo	Medio	Alto

---

que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado, p. 29. (Recuperado en 21 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/aj470s/aj470s02.pdf>

## 2.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO DE SISTEMAS DE RIEGO

**2.4.1 Introducción sobre unidades de medida.** Las unidades que se emplean generalmente en el estudio y diseño de sistemas de riego están relacionadas directamente a conceptos fundamentales de la hidrometría básica. Esto se debe a la necesidad de evaluar cuantitativamente las entradas y salidas de masas de agua en el espacio y en el tiempo, entre las que destacan la precipitación, la escorrentía superficial y subterránea, la infiltración y la evapotranspiración<sup>41</sup>. Así, se introduce la unidad más común para expresar la precipitación: altura de lámina de agua.

**2.4.1.1 Lámina de agua.** En hidrometría, se define como “espesor de la capa de agua con que una superficie de tierra, supuestamente a nivel, quedaría cubierta por un volumen de agua”<sup>42</sup>. Esta forma de expresión resulta bastante útil debido a que no depende del área. Por ejemplo, como muestra la Figura 2, si se coloca una caja con dimensiones de 1 [m] de largo y 1 [m] de ancho durante una llovizna, y pasado un tiempo se recoge 1 [L] de agua, se va a poder observar que ese litro de agua alcanza una altura de 1 [mm] dentro de la caja. Es posible comprobar esto mediante el cálculo del volumen de agua almacenada en la caja:

$$\text{Volumen [m}^3\text{]} = \text{Largo [m]} \times \text{Ancho [m]} \times \text{Alto [m]}$$

$$\text{Volumen [m}^3\text{]} = 1 \text{ [m]} \times 1 \text{ [m]} \times 0,001 \text{ [m]}$$

$$\text{Volumen [m}^3\text{]} = 0,001 \text{ [m}^2\text{]} = 1 \text{ [L]}$$

En conclusión, un milímetro de lámina de agua equivale a un litro de agua recogida en una superficie plana de un metro cuadrado:

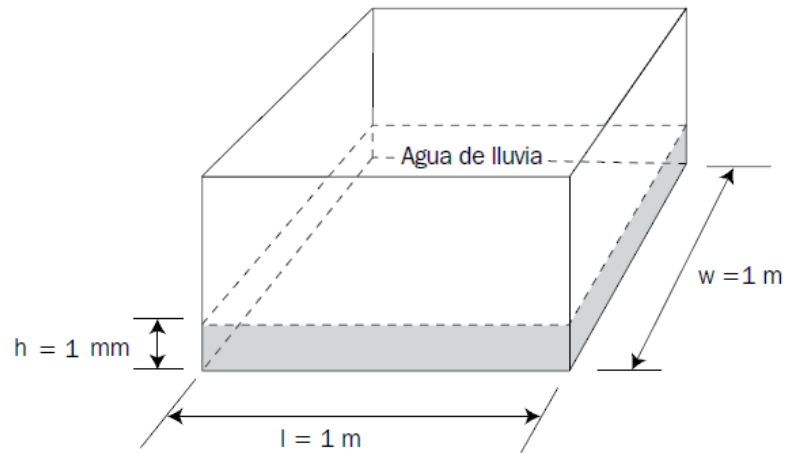
$$1 \text{ [mm]} = 1 \text{ [L/m}^2\text{]}$$

---

<sup>41</sup> ARRIAGA, Pedro. La medida de la precipitación. [En línea]. Meteorología. Madrid.: iAgua. 2015. (Recuperado en 25 junio 2020). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/pedro-arriaga/medida-precipitacion>

<sup>42</sup> GLOSARIO DE RIEGO. Lámina. [En línea]. Hidrometría. (Recuperado en 25 junio 2020). Disponible en: <https://www.riego.org/glosario/lamina/>

Figura 2. Equivalencia entre volumen de precipitación y altura lámina de agua



Fuente: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 66. (Recuperado en 25 junio 2020). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

**2.4.2 Necesidades netas de riego máximas ( $N_n$ ).** En las plantas, el riego se encarga de suplir las necesidades variables de agua (a lo largo del ciclo del cultivo) cuando la precipitación no es suficiente. Las necesidades netas de riego máximas se expresan en  $[mm/día]$  que generalmente se abrevia como  $[mm/d]$ , y se definen mediante la Ecuación 2.1.

$$N_n = ET_c - P_e \quad \text{Ecuación 2.1}$$

donde  $ET_c$  es la evapotranspiración del cultivo  $[mm/d]$  y  $P_e$  es la precipitación efectiva  $[mm/d]$ .

**2.4.2.1 Precipitación efectiva ( $P_e$ ).** Debido a que no toda la precipitación es aprovechable por los cultivos debe calcularse la precipitación efectiva ( $P_e$ ) a partir de los datos de la precipitación confiable para determinado valor X de probabilidad ( $P_{pt. X\%}$ ). Según las ecuaciones usadas por el

Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS) para una precipitación mensual probable ( $P_m$ ):

$$P_e = (125 - 0,2 \times P_m) \times P_m / 125 \quad \text{donde } P_m < 250 \text{ [mm/mes]} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$P_e = 0,1 \times P_m + 125 \quad \text{donde } P_m \geq 250 \text{ [mm/mes]} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Es importante recalcar que se trabaja con precipitaciones a un valor X de probabilidad (precipitación confiable) en climas de alta variabilidad interanual como es el caso de Sudamérica para la estimación numérica de las necesidades de riego. No es recomendable trabajar con valores de precipitación promedio<sup>43</sup>.

**2.4.2.2 Evapotranspiración del cultivo ( $ET_C$ ).** La transpiración es el proceso donde el agua que extrae la planta desde el suelo para su desarrollo se escapa hacia la atmósfera en forma de vapor. Para la determinación de la evapotranspiración del cultivo existen diferentes métodos. En este proyecto se pretende utilizar el método de Doorenbos y Pruitt citado por la FAO<sup>44</sup>:

$$ET_C = ET_0 \times K_C \quad \text{Ecuación 2.4}$$

donde  $ET_0$  es la evapotranspiración de referencia [mm/d] y  $K_C$  es el coeficiente adimensional del cultivo.

--- **Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ).** Se define como "la evapotranspiración de un cultivo de gramíneas (un pasto) de 8 a 10 [cm] de altura, suficientemente regado, bien abonado y en buen estado sanitario" <sup>45</sup> Este valor de evapotranspiración puede calcularse o consultarse en bases de datos (generalmente de Servicios Meteorológicos).

--- **Coeficiente adimensional del cultivo ( $K_C$ ).** El factor  $K_C$  es único para cada cultivo y permite diferenciar la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración propia del

---

<sup>43</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 69. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

<sup>44</sup> Ibid., p. 71.

<sup>45</sup> Ibid., p. 71.

cultivo. Éste varía "según lo hace la cantidad de agua que extrae del suelo a medida que se va desarrollando, desde la siembra hasta la recolección" <sup>46</sup>. Los árboles frutales son un caso especial, ya que poseen un coeficiente adimensional del cultivo constante (o de baja variabilidad) durante todo el año.

**2.4.3 Necesidades totales de riego ( $N_b$ ).** La necesidad total de riego o necesidad bruta de riego  $N_b$  es el volumen de agua necesario que debe suministrarse diariamente a la planta. El cálculo de  $N_b$  en  $[mm/d]$  está dado por la siguiente expresión:

$$N_b = 100 \times N_n / E_a \quad \text{Ecuación 2.5}$$

donde  $N_n$  es la necesidad neta de riego  $[mm/d]$  y  $E_a$  es la eficiencia de aplicación en porcentaje [%].

**2.4.3.1 Eficiencia de aplicación ( $E_a$ ).** Es un valor estimado de diseño, que dependiendo del tipo de sistema de riego le es asignado un porcentaje. Según la FAO<sup>47</sup> para un sistema de riego por aspersión es 75%, por goteo es 90% y para superficie es 50%.

**2.4.4 Dosis neta de riego ( $D_n$ ).** Se define como la cantidad de agua neta requerida por el cultivo para mantenerse en condiciones óptimas de humedad.

Es importante distinguir los conceptos de: necesidad y dosis de riego.

"Como no regamos todos los días, sino que utilizamos el suelo como almacén de agua, el día que reguemos deberemos aportar el agua de ese día más el de todos los días que hemos pasado sin regar"<sup>48</sup>. Es decir, la dosis corresponde a la necesidad diaria total acumulada que debe suministrarse a la planta entre cada intervalo de riego.

---

<sup>46</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 71. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

<sup>47</sup> Ibid., p. 106.

<sup>48</sup> Ibid., p. 106.

Debido a que después de cierto nivel, las plantas presentan dificultad para succionar agua a través de sus raíces, la dosis neta de riego  $D_n$  corresponde al volumen de agua necesario para mantener el suelo en un punto medio aceptable de humedad disponible entre la Capacidad de campo ( $CC$ ) y el Punto de marchitez permanente ( $PMP$ ). La ecuación para el cálculo de la dosis neta de riego  $D_n$  en  $[mm]$  es:

$$D_n = DPM \times AU/100 \quad \text{Ecuación 2.6}$$

donde  $DPM$  es el déficit permisible de manejo en  $[\%]$  y  $AU$  es el agua utilizable por los cultivos en  $[mm]$ .

**2.4.4.1 Déficit permisible de manejo (DPM).** Es el "nivel de humedad a partir del cual las raíces tienen muchas dificultades para extraer agua del suelo, con el mayor esfuerzo de succión que deben desarrollar"<sup>49</sup> Generalmente, es representado como una fracción  $[\%]$  del agua utilizable por los cultivos  $AU$ . Existen tablas en la literatura recomendada con valores de  $DPM$  para diversos tipos de cultivos.

**2.4.4.2 Agua utilizable por el cultivo (AU).** Depende principalmente de la textura del suelo. Se calcula mediante la siguiente expresión en  $[mm]$ :

$$AU = 10 \times (CC - PMP) \times d_a \times P_r \quad \text{Ecuación 2.7}$$

donde  $CC$  es la capacidad de campo en  $[\% \theta_g]^*$ ,  $PMP$  es el Punto de marchitez permanente en  $[\% \theta_g]$ ,  $d_a$  es la densidad aparente en  $[g/cm^3]$  y  $P_r$  la profundidad efectiva de raíces en  $[m]$ . Los valores de  $CC$ ,  $PMP$ ,  $d_a$  y  $P_r$  para diferentes texturas de suelo se encuentran en tablas.

**2.4.5 Dosis bruta de riego ( $D_b$ ).** La dosis bruta de riego  $D_b$  corresponde a una cantidad de agua ligeramente superior a la neta necesaria. Dependiendo del

---

<sup>49</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p.59. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

\*  $[\theta_g]$  es la unidad correspondiente a la humedad gravimétrica.

tipo de riego utilizado y de diferentes factores (pérdidas en la conducción y la descarga, viento en la aplicación, percolación, etc.) es común incrementar la cantidad de agua suministrada a las plantas por motivo de seguridad, y para asegurar que siempre se cuente con la dosis efectiva requerida.

El cálculo de la dosis bruta de riego en milímetros [*mm*] se realiza mediante la siguiente expresión:

$$D_b = 100 \times D_{n\text{aj}}/E_a \quad \text{Ecuación 2.8}$$

donde  $D_{n\text{aj}}$  es la dosis neta ajustada en milímetros [*mm*] y  $E_a$  es la eficiencia de aplicación en porcentaje [%]

**2.4.5.1 Dosis neta ajustada ( $D_{n\text{aj}}$ ).** Como su nombre lo indica, corresponde a un valor ajustado de la Dosis neta de riego  $D_n$  después de considerar los intervalos entre riegos aproximados a un número entero, y también debido al número de regantes.

En una primera instancia, debe definirse la dosis neta de riego  $D_n$  y el máximo intervalo entre riegos  $I_M$ , realizando un ajuste a este último. Una vez hecha la aproximación, se procede a recalcular la dosis neta de riego  $D_n$  que es la denominada Dosis neta de riego ajustada  $D_{n\text{aj}}$ , a partir de la siguiente expresión en [*mm*]:

$$D_{n\text{aj}} = I_{\text{aprox}} \times N_n \quad \text{Ecuación 2.9}$$

donde  $I_{\text{aprox}}$  es el máximo intervalo entre riegos aproximado en [*días*] (modificado según las condiciones) y  $N_n$  las necesidades netas de riego máximas en [*mm/d*].

--- **Intervalo entre riegos (*I*).** Se define como "el máximo tiempo que se puede dejar entre dos riegos consecutivos de tal manera que el déficit de humedad no sea inferior al déficit permisible de manejo  $DPM$ "<sup>50</sup>. Se determina mediante la siguiente ecuación en [*días*]

$$I = D_n/N_n \quad \text{Ecuación 2.10}$$

donde  $D_n$  es la dosis neta de riego en [*mm*] y  $N_n$  necesidad neta de riego máxima [*mm/d*].

<sup>50</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p.105. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

**2.4.6 Número de emisores ( $n_e$ )** Corresponde al número de emisores mínimo por planta, y según la Universidad de Sevilla<sup>51</sup> se determina como:

$$n_e = \frac{Superf_{mojadaxplanta}}{Superf_{mojadaxemisor}} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

donde  $Superf_{mojadaxplanta}$  es la superficie mojada por planta [ $m^2$ ] y  $Superf_{mojadaxemisor}$  es la superficie mojada por emisor [ $m^2$ ].

**2.4.6.1 Superficie mojada por planta ( $Superf_{mojadaxplanta}$ ).** Debido a que en el riego localizado (por ejemplo, riego por goteo) se humedece sólo una fracción del suelo, es necesario pronosticar una superficie mínima mojada por cada planta para asegurar el desarrollo normal del cultivo. La siguiente expresión permite determinar la superficie mínima mojada por planta en [ $m^2$ ]:

$$Superf_{mojadaxplanta} = \frac{P \times Superf_{ocupadaxplanta}}{100} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

donde  $P$  es el porcentaje de suelo mojado [%] y  $Superf_{ocupadaxplanta}$  es la superficie ocupada por planta [ $m^2$ ].

--- **Porcentaje de suelo mojado ( $P$ ).** Como se menciona anteriormente, es importante asegurar que la planta dispone de una reserva de agua en el suelo mínima para desarrollarse y suplir posibles ausencias de riego. El porcentaje de suelo mojado

---

<sup>51</sup> UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Open Course Ware: Ingeniería Agroforestal, Hidráulica y Riegos, Tema 10: Riego goteo. [En línea]. Sevilla.: Universidad de Sevilla, 2007. (Recuperado en 04 diciembre 2019). Disponible en: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial\\_01.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_01.htm)

contribuye a mantener este rango mínimo. Según la Universitat Jaume I<sup>52</sup>, los valores recomendados según el tipo de cultivo son:

- *Cultivos herbáceos*:  $P = 50$  [%]                      - *Cultivos leñosos*:  $P = 33$  [%]

--- **Superficie ocupada por planta ( $Superf_{ocupadaxplanta}$ )**. Es el área total ocupada por la planta dentro de un marco de plantación circular. Se expresa en [ $m^2$ ] como:

$$Superf_{ocupadaxplanta} = (\pi/4) \times D_{planta}^2 \quad \text{Ecuación 2.13}$$

donde  $D_{planta}$  es el diámetro de las raíces en el marco de plantación respecto del tallo [ $m$ ].

**2.4.6.2 Superficie mojada por emisor ( $Superf_{mojadaxemisor}$ )**. La superficie mojada por emisor se define como la proyección horizontal del bulbo húmedo que se forma. Es recomendable realizar las estimaciones del bulbo húmedo mediante pruebas de medición directa en el cultivo; sin embargo, es bastante costoso, tedioso y no asegura resultados precisos. Una solución alternativa es a partir de la siguiente expresión en [ $m^2$ ]:

$$Superf_{mojadaxemisor} = (\pi/4) \times Dm_{bulbo}^2 \quad \text{Ecuación 2.14}$$

donde  $Dm_{bulbo}$  es el diámetro mojado del bulbo húmedo [ $m$ ].

--- **Diámetro mojado del bulbo húmedo ( $Dm_{bulbo}$ )**. El bulbo húmedo es el volumen de suelo humedecido por un emisor de riego localizado. "El movimiento del agua en el suelo determina la forma y el tamaño del bulbo húmedo, que tiene una gran importancia, ya que en él se desarrolla el sistema radical de las plantas"<sup>53</sup>. En general, el tamaño y forma del bulbo húmedo depende de la textura del suelo, el caudal del emisor y el tiempo de aplicación de la dosis de riego.

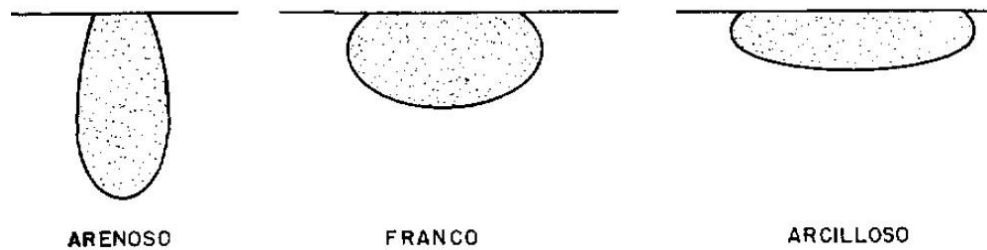
---

<sup>52</sup> UNIVERSITAT JAUME I. Tema 2 Riego por goteo: Fundamentos del diseño. Ingeniería técnica agrícola, Área mecánica de fluidos, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Castellón de la Plana.

<sup>53</sup> FUENTES YAGÜE, José Luis y GARCÍA LEGASPI, Guillermo. Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México D.F.: Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., 1999. p.281.

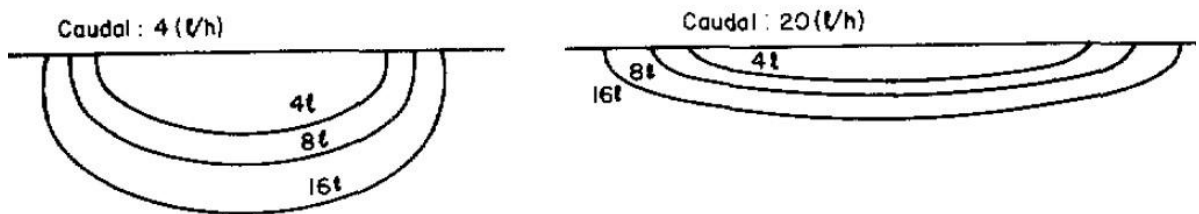
Como se puede observar en la Figura 3, los suelos arenosos permiten que el agua circule hacia abajo, mientras que los arcillosos facilitan el movimiento del agua hacia los lados. Así mismo, la Figura 4 muestra cómo a medida que aumenta el tiempo de riego la profundidad del bulbo también lo hace, en este caso para un suelo franco<sup>54</sup>.

Figura 3. Forma del bulbo húmedo en suelos de diferente textura



Fuente: FUENTES YAGÜE, José Luis y GARCÍA LEGASPI, Guillermo. Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México D.F.: Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., 1999. p.282.

Figura 4. Forma y tamaño del bulbo húmedo en un suelo franco cuando se aplica la misma cantidad de agua con dos emisores de distinto caudal



Fuente: FUENTES YAGÜE, José Luis y GARCÍA LEGASPI, Guillermo. Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México D.F.: Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., 1999. p.282.

<sup>54</sup> FUENTES YAGÜE, José Luis y GARCÍA LEGASPI, Guillermo. Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México D.F.: Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., 1999. p. 282.

El cálculo del diámetro mojado del bulbo en función de la textura del suelo en [m] se realiza a partir de las expresiones propuestas por Karmeli, Peri y Todes<sup>55</sup>:

$$\text{- Textura gruesa (Suelo arcilloso): } Dm_{bulbo} = 0,3 + 1,2 \times Q_{emisor}$$

$$\text{- Textura media (Suelo franco): } Dm_{bulbo} = 0,6 + 0,1 \times Q_{emisor}$$

$$\text{- Textura fina (Suelo arenoso): } Dm_{bulbo} = 1,2 + 0,1 \times Q_{emisor}$$

donde  $Q_{emisor}$  es el caudal del emisor en [L/h].

**2.4.7 Tiempo de aplicación ( $t_a$ ).** Es el tiempo mínimo durante el que cada emisor (dependiendo del sistema de riego) debe aplicar la dosis bruta necesaria en la planta. Se calcula a partir de la siguiente expresión en [h]:

$$t_a = \frac{D_b \times Superf_{mojada\ x\ planta}}{n_e \times Q_{emisor}} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

donde  $D_b$  es la dosis bruta de riego [mm],  $Superf_{mojada\ x\ planta}$  es la superficie mínima mojada por planta [ $m^2$ ],  $n_e$  es el número de emisores [goteros] y  $Q_{emisor}$  es el caudal del emisor (caudal del gotero) [L/h].

Nótese que la dosis bruta de riego se multiplica por la superficie mínima mojada por planta para hallar este valor en términos de volumen. Es importante recordar que la dosis en milímetros [mm] corresponde a aplicar esa cantidad en litros por metros cuadrados [ $L/m^2$ ] de suelo a irrigar; es decir, por metros cuadrados de superficie mínima mojada por planta.

$$D_b[mm] = D_b[L/m^2] \quad \Rightarrow \quad D_b[L] = D_b[L/m^2] \times Superf_{mojada\ x\ planta}[m^2]$$

---

<sup>55</sup> UNIVERSITAT JAUME I. Tema 2 Riego por goteo: Fundamentos del diseño. Ingeniería técnica agrícola, Área mecánica de fluidos, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Castellón de la Plana.

**2.4.8 Disposición de los emisores.** Según Fuentes, J. y García, G. es importante tener varias consideraciones al momento de posicionar las tuberías porta-emisores en el terreno del cultivo:

- Dar a cada planta como mínimo el número de emisores obtenido en los cálculos del diseño agronómico.
- La disposición no debe causar dificultades en las labores del cultivo (como podas, polinización artificial, revisión de los frutos, entre otros).
- La inversión debe ser mínima.

Así mismo, respecto a la disposición de los emisores se recomienda usar dos criterios distintos:

--- **Criterio aplicable principalmente a cultivos en línea.** "La zona húmeda forma una línea continua, a lo largo de la cual las plantas desarrollan su sistema radical. Este sistema ofrece la ventaja de facilitar las labores agrícolas, pero tiene el inconveniente de que puede producirse la caída de las plantas de porte alto."<sup>56</sup>

--- **Criterio aplicable principalmente a cultivos arbóreos.** "Se forman una serie de puntos húmedos alrededor de las plantas, con lo cual las raíces se desarrollan en varias direcciones y es menor el riesgo de ser abatidas por el viento."<sup>57</sup>

Teniendo en cuenta las recomendaciones y criterios mencionados anteriormente, la distancia óptima entre emisores consecutivos ( $Dist_{emisores}$ ) se determina mediante la siguiente expresión<sup>58</sup> en  $[m]$ .

$$Dist_{emisores} = Rm_{bulbo} \times \left(2 - \frac{S}{100}\right) \quad \text{Ecuación 2.16}$$

donde  $Rm_{bulbo}$  es el radio mojado del bulbo  $[m]$  y  $S$  es el traslape expresado en tanto por ciento  $[\%]$ .

---

<sup>56</sup>FUENTES YAGÜE, José Luis y GARCÍA LEGASPI, Guillermo. Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México D.F.: Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., 1999. p.322.

<sup>57</sup> Ibid., p.322.

<sup>58</sup> Ibid., p.323.

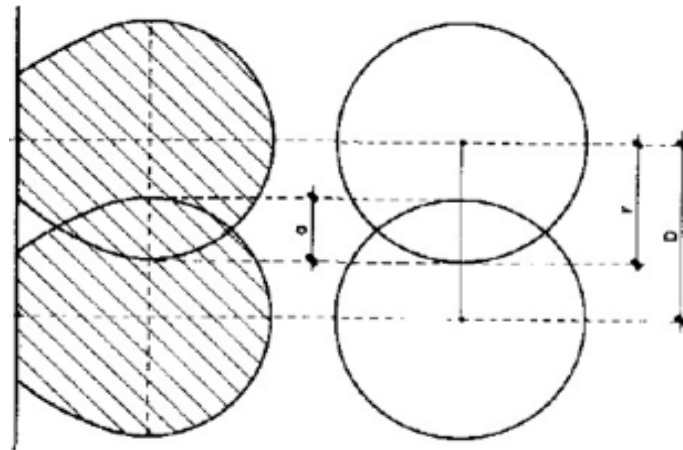
--- **Traslape (S).** El traslape "se define como el porcentaje de distancia recubierta por dos bulbos consecutivos con relación al radio del bulbo húmedo"<sup>59</sup> (véase Figura 5). En relación con los cultivos, existen diferentes recomendaciones referentes al traslape. Por ejemplo, en cultivos herbáceos el traslape es requerido "porque de lo contrario las semillas que quedan entre los bulbos tendrían dificultades para germinar (...) En el caso de frutales es necesario que los bulbos se traslapen pues de otra forma las raíces tendrían dificultad para atravesar la zona seca comprendida entre bulbos y el borde salino de los mismos"<sup>60</sup>. La expresión para el cálculo del traslape en tanto por ciento [%] está definida como:

$$S = 100 \times \frac{a}{Rm_{bulbo}} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

donde  $a$  es la distancia recubierta por dos bulbos consecutivos [m] y  $Rm_{bulbo}$  es el radio mojado del bulbo húmedo [m].

Según Fuentes, J. y García, G. los valores del traslape para asegurar el correcto funcionamiento del sistema deben estar entre el 15 [%] y 30 [%].

Figura 5. Separación entre emisores que dan bulbos con traslape



Fuente: FUENTES YAGÜE, José Luis y GARCÍA LEGASPI, Guillermo. Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México D.F.: Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., 1999. p.282.

<sup>59</sup> FUENTES YAGÜE, José Luis y GARCÍA LEGASPI, Guillermo. Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México D.F.: Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., 1999. p. 322.

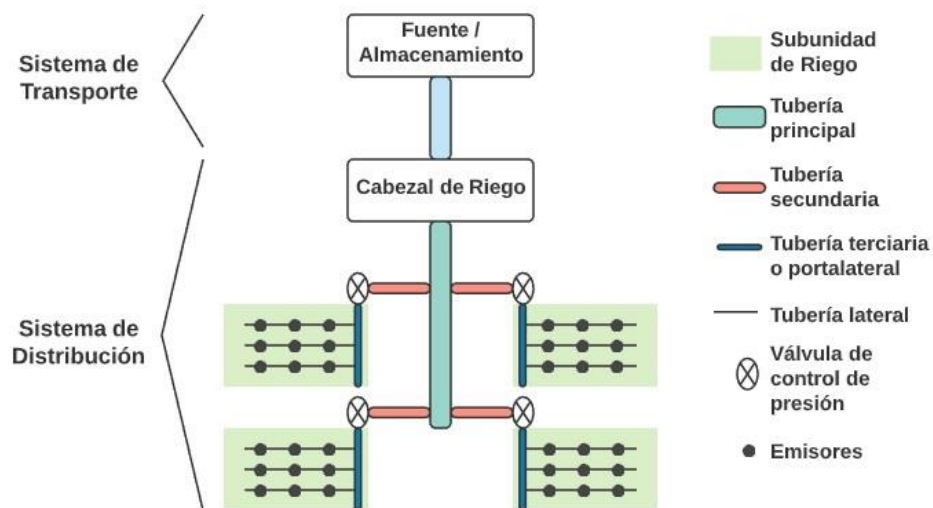
<sup>60</sup> Ibid., p. 322.

## 2.5 FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE SISTEMAS DE RIEGO

El diseño hidráulico en un sistema de riego localizado determina cada uno de los componentes, dimensiones y funcionamiento de la instalación, mediante los datos e información obtenida previamente en el diseño agronómico.

Los sistemas de riego tradicionales se conforman principalmente de dos partes: sistema de transporte y sistema de distribución. En una primera instancia, se tiene el sistema encargado de transportar el agua desde su almacenamiento hasta el cabezal de riego; en seguida, se articula al segundo sistema, que conduce el fluido desde el cabezal hasta cada uno de los emisores.

Figura 6. Identificación de los componentes de un sistema de riego



El procedimiento de diseño de un sistema de riego comienza con la subunidad. Primero, debe determinarse hidráulicamente los caudales en las tuberías laterales y terciarias, teniendo en cuenta la tolerancia de presiones (definida por criterios recomendados en la variación del caudal). Con estos parámetros establecidos, un proceso iterativo permite definir los diámetros y el régimen de presiones real; es

decir, se comprueba para asegurar que cada uno de los emisores tiene a su disposición una presión óptima de funcionamiento.

El diseño de la subunidad de riego es la fase más complicada en los cálculos hidráulicos. Los demás componentes del sistema de distribución se analizan de forma similar a cualquier sistema tradicional de transporte de fluido, a excepción de particularidades en el cabezal de riego. Es importante aclarar que la disposición y diseño de la red en una instalación de riego no siempre será la misma (aunque se presenten similitudes en las diferentes propuestas). Debido a esto, es fundamental estudiar cada caso específico con minuciosa particularidad, para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

A continuación, se presentan fundamentos teórico conceptuales básicos en el diseño y cálculo hidráulico de un sistema de riego por goteo, comenzando el procedimiento desde el emisor (gotero) hasta finalizar en el almacenamiento.

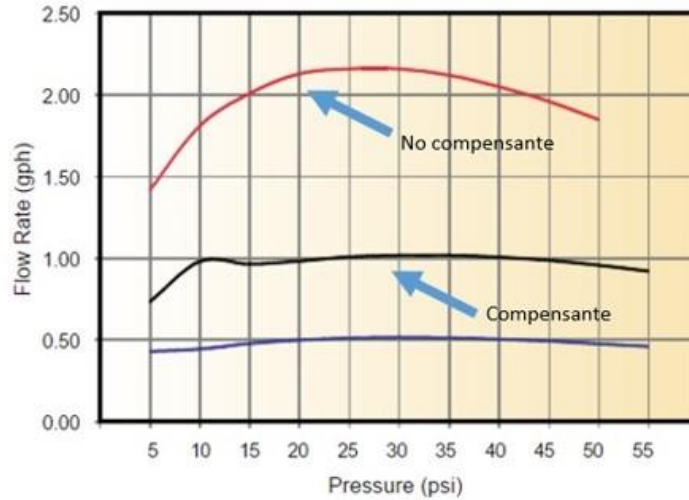
**2.5.1 Emisores: El gotero.** En un sistema de riego por goteo, los emisores corresponden a goteros, dispositivos que se encargan de aportar el agua al suelo desde las tuberías laterales. Éstos se caracterizan por mojar una parte superficial pequeña localizada en la planta, con una salida de agua a gotas o en pequeños chorros. Existen principalmente dos tipos de goteros: compensante y no compensante. Dependiendo del tipo de emisor considerado se tendrá una curva de caudal - presión con una mayor o menor inclinación (véase Figura 7).

Los goteros compensantes "llevan un mecanismo (normalmente una membrana fabricada en silicona tratada) que regula el flujo de salida del agua entregando prácticamente el mismo caudal para una banda dada de presiones"<sup>61</sup>. Por el contrario, los goteros no compensantes varían su caudal a partir de los cambios de presión, debido a que no poseen este mecanismo de compensación.

---

<sup>61</sup> MONGE REDONDO, Miguel Ángel. Exponente de descarga de un gotero: cómo calcular su valor. [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAqua. 2016. (Recuperado en 29 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/exponente-descarga-gotero-como-calcular-valor>

Figura 7. Curvas características de goteros



Fuente: MONGE REDONDO, Miguel Ángel. Exponente de descarga de un gotero: cómo calcular su valor. [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAqua. 2016. (Recuperado en 29 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/exponente-descarga-gotero-como-calcular-valor>

**2.5.1.1 Ecuación de descarga de un gotero ( $\dot{Q}_{gotero}$ ).** El cálculo del caudal de los emisores de riego (válida para cualquier tipo de gotero) se ajusta a la siguiente expresión:

$$Q_{gotero} = K \times (P_{gotero})^x \quad \text{Ecuación 2.18}$$

donde  $Q_{gotero}$  es el caudal del gotero [L/h],  $K$  es el coeficiente de descarga (valor adimensional característico de cada gotero),  $P_{gotero}$  es la presión de entrada del emisor [mca] y  $x$  es el exponente de descarga del emisor (valor adimensional que expresa la sensibilidad de los goteros a las variaciones de presión).

--- **Exponente de descarga ( $x$ ).** El valor del exponente varía de 0 a 1. Los emisores cuyo valor se aproxime a 1, corresponden a goteros altamente sensibles a los cambios de presión (gotero no compensante); a su vez, cuando el exponente sea prácticamente igual a 0 el caudal presentará variaciones leves ante diferentes valores de presión (gotero

compensante). En cualquier caso, los emisores más eficientes y funcionalmente estables son los que presentan valores de exponente de descarga más bajos<sup>62</sup>.

**2.5.1.2 Máxima variación de la presión entre dos emisores ( $\Delta P_{gotero}$ ).** "El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo limita la variación máxima de caudal a un 10% en el lateral y por extensión en la unidad de riego"<sup>63</sup>. Este criterio de diseño se aplica a todo tipo de goteros y se traslada a la ecuación de descarga de un gotero (Ecuación 2.18), en la que al derivar y tomar la variación de caudal del 10%, se obtiene:

$$Q_{gotero} = K \times (P_{gotero})^X \Rightarrow \frac{dQ_{gotero}}{Q_{gotero}} = X \times \frac{dP_{gotero}}{P_{gotero}} \Rightarrow (0,1) = X \times \frac{dP_{gotero}}{P_{gotero}}$$

$$\Delta P_{gotero} = \frac{0,1}{X} \times P_{gotero} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

donde  $\Delta P_{gotero}$  es la máxima variación de presión que puede existir entre dos emisores [mca],  $P_{gotero}$  es la presión de entrada del emisor [mca] y  $x$  es el exponente de descarga del emisor.

**2.5.1.3 Máxima diferencia de presiones entre goteros en la subunidad de riego ( $P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n}$ ).** Debido a que el caudal del emisor va ligado a la presión, es importante asegurar que la máxima variación de la presión entre goteros de la subunidad no supere el criterio hidráulico descrito anteriormente, así:

$$P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n} \leq \frac{0,1}{X} \times P_{gotero} \quad \text{Ecuación 2.20}$$

<sup>62</sup> MONGE REDONDO, Miguel Ángel. Exponente de descarga de un gotero: cómo calcular su valor. [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgu. 2016. (Recuperado en 29 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/exponente-descarga-gotero-como-calcular-valor>

<sup>63</sup> MONGE REDONDO, Miguel Ángel. Presiones de diseño en unidades de riego por goteo. [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgu. 2018. (Recuperado en 29 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/presiones-diseno-unidades-riego-goteo>

donde ( $P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n}$ ) es "la máxima diferencia de presiones entre goteros en la unidad de riego que equivale a la diferencia de presiones entre el gotero situado más cerca del inicio de la tubería terciaria (el gotero de mayor presión, por tanto) y el más alejado del punto de alimentación (el de menor presión)"<sup>64</sup>.

**2.5.2 Tuberías laterales.** Las tuberías laterales o porta-emisores son las encargadas de transportar el agua hasta el cultivo por medio de los emisores articulados a éstas. En cualquier instalación de riego es fundamental que el suministro de agua a las plantas sea lo más uniforme posible; es decir, cada uno de los goteros que conforman el sistema debe distribuir aproximadamente la misma cantidad de fluido. Debido a esto, "la uniformidad constituye el punto de partida del diseño hidráulico de cualquier instalación de riego localizado"<sup>65</sup>.

Es necesario tener en cuenta dos condiciones para alcanzar la uniformidad:

1. "Que todos los emisores de la instalación sean de buena calidad, garantizados por el fabricante y que cumplan las normas de calidad"<sup>66</sup>.
2. "Que la presión del agua en todos los emisores sea lo más parecida posible, para lo que habrá que dimensionar la red correctamente"<sup>67</sup>.

La segunda condición de diseño es la más difícil de garantizar; sin embargo, con el cumplimiento del criterio hidráulico descrito anteriormente (véase Sección 2.5.1.2 y Sección 2.5.1.3) es posible asegurar que la presión en los emisores sea tal que no genere una variación de caudal superior al 10% en la subunidad.

---

<sup>64</sup> MONGE REDONDO, Miguel Ángel. Presiones de diseño en unidades de riego por goteo. [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgua. 2018. (Recuperado en 29 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/presiones-diseno-unidades-riego-goteo>

<sup>65</sup> UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Open Course Ware: Ingeniería Agroforestal, Hidráulica y Riegos, Tema 10: Riego goteo. [En línea]. Sevilla.: Universidad de Sevilla, 2007. (Recuperado en 04 diciembre 2019). Disponible en: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial\\_01.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_01.htm)

<sup>66</sup> Ibid.

<sup>67</sup> Ibid.

**2.5.2.1 Suma de pérdidas de presión por rozamiento en las tuberías ( $\Delta H_u$ ).** En las tuberías laterales se presentan pérdidas de presión significativas debido a las secciones pequeñas de paso a través de los tubos. En una unidad de riego, a medida que el fluido avanza desde el primer emisor hasta el último, la presión disminuye a causa de las pérdidas producidas tanto en las tuberías laterales como en la tubería terciaria<sup>68</sup>.

En conclusión, la diferencia de presiones en la subunidad de riego equivale a la suma de las pérdidas de carga por rozamiento en las tuberías laterales y terciaria, así:

$$P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n} = \Delta H_u = h_{f,laterales} + h_{f,terciaria} \quad \text{Ecuación 2.21}$$

donde ( $P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n}$ ) es la máxima diferencia de presiones entre goteros en la subunidad y ( $\Delta H_u = h_{f,laterales} + h_{f,terciaria}$ ) la suma de pérdidas de presión por rozamiento en el interior de las tuberías.

**2.5.2.2 Pérdidas de carga en tuberías laterales ( $h_{f,lateral}$ ).** Las pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios, como es el caso de las tuberías laterales, se analizan a partir de la sumatoria de pérdidas en cada tramo (distancia entre emisores). La fórmula para el cálculo<sup>69</sup> es:

$$h_{f,lateral} = h_{f,L} \times F_{c,L} \quad \text{Ecuación 2.22}$$

donde  $h_{f,L}$  es la pérdida de carga unitaria en la tubería lateral y  $F_{c,L}$  es el coeficiente de Christiansen.

**2.5.2.3 Pérdidas de carga unitaria en tuberías laterales ( $h_{f,L}$ ).** La expresión empírica más utilizada para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción en sistemas comunes es la ecuación de Hazen - Williams; sin embargo, "está fórmula se diseñó para su utilización con diámetros de

---

<sup>68</sup> MONGE REDONDO, Miguel Ángel. Presiones de diseño en unidades de riego por goteo. [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgua. 2018. (Recuperado en 29 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/presiones-diseno-unidades-riego-goteo>

<sup>69</sup> UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Open Course Ware: Ingeniería Agroforestal, Hidráulica y Riegos, Tema 10: Riego goteo. [En línea]. Sevilla.: Universidad de Sevilla, 2007. (Recuperado en 04 diciembre 2019). Disponible en: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial\\_01.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_01.htm)

tubería superiores a los 50 mm y velocidades del agua inferiores a los 3 m/s. Dado que estas condiciones no siempre se dan en los minirriegos, puede llegar a arrojar errores superiores al 15%, lo que es inadmisibles<sup>70</sup>. Debido a esto, para el cálculo de las pérdidas de carga unitaria por fricción en tuberías laterales en sistemas de riego por goteo, se prefiere trabajar con la ecuación de Darcy - Weisbach, así:

$$h_{f.L} = \frac{1}{12,1} \times \frac{f_L \times Long_L \times (\dot{Q}_{lateral})^2}{(D_{lateral})^5} \quad \text{Ecuación 2.23}$$

donde  $h_{f.L}$  es la pérdida de carga unitaria por fricción en [mca], (1/12,1) es un valor constante resultado de la transformación de la ecuación expresada en términos de la velocidad correspondiente a  $(8/g\pi^2)$ ,  $f_L$  es el Factor de fricción de Darcy,  $Long_L$  es la longitud de la tubería lateral [m],  $\dot{Q}_{lateral}$  es el caudal en la tubería lateral [ $m^3/s$ ] y  $D_{lateral}$  es el diámetro interior de la tubería lateral [m].

--- **Factor de fricción de Darcy en la tubería lateral ( $f_L$ ).** El factor de fricción de Darcy para entradas de flujo interno se determina a partir del Número de Reynolds ( $Re$ ) y la Rugosidad relativa ( $RR$ ) mediante el Diagrama de Moody. Sin embargo, en la actualidad es posible hallar este factor haciendo uso de software que calculan empleando la relación del factor de fricción de Churchill (por ejemplo, EES - Engineering Equation Solver).

La relación de Churchill fue elegida para reemplazar la relación de Colebrook, utilizada en la antigüedad, ya que proporciona una transición suave desde los regímenes de flujo laminar a turbulento<sup>71</sup>.

--- **Longitud de la tubería lateral ( $Long_L$ ).** La expresión para la longitud de tuberías con consumos intermedios y primer emisor separado (como es el caso de las tuberías laterales)<sup>72</sup> está definida como:

<sup>70</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 128. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

<sup>71</sup> ENGINEERING EQUATION SOLVER, EES. MoodyChart: Function Info. En: Function Information, EES library routines, Moody.LIB.

<sup>72</sup> UNIVERSITAT JAUME I. Tema 3 Riego por goteo: Fundamentos hidráulicos. Ingeniería técnica agrícola, Área mecánica de fluidos, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Castellón de la Plana.

$$Long_L = Long_{L,0} + (N_{goteros} - 1) \times Dist_{goteros} \quad \text{Ecuación 2.24}$$

donde  $Long_{L,0}$  es la distancia desde el inicio del lateral hasta el primer emisor [ $m$ ],  $N_{goteros}$  es el número de goteros presentes en la tubería lateral [ $goteros$ ] y  $Dist_{goteros}$  es la distancia de separación entre los emisores (goteros) en [ $m$ ].

--- **Caudal de la tubería lateral ( $\dot{Q}_{lateral}$ ).** El caudal en el origen del lateral debe ser suficiente para asegurar el flujo continuo de agua a través de los emisores durante el riego.

$$\dot{Q}_{lateral} = N_{goteros} \times \dot{Q}_{gotero} \quad \text{Ecuación 2.25}$$

donde  $N_{goteros}$  es el número de goteros presentes en la tubería lateral [ $goteros$ ] y  $\dot{Q}_{gotero}$  es el caudal nominal del gotero [ $m^3/s$ ].

**2.5.2.4 Coeficiente de Christiansen en tuberías laterales ( $F_{c,L}$ ).** A la suma de la serie de pérdidas en toda la conducción con consumos intermedios se le conoce como Coeficiente reductor o Coeficiente de Christiansen<sup>73</sup>. El cálculo de este factor se realiza mediante la siguiente expresión:

$$F_{c,L} = \frac{1}{1+\beta_L} \times \frac{1}{2 \times N_{goteros}} \times \frac{(\beta_L - 1)^{1/2}}{6 \times (N_{goteros})^2} \quad \text{Ecuación 2.26}$$

donde  $N_{goteros}$  es el número de goteros presentes en la tubería lateral [ $goteros$ ] y  $\beta_L$  es un coeficiente adimensional que depende de la fórmula utilizada en las pérdidas de carga.

--- **Coeficiente adimensional ( $\beta_L$ ).** El valor del coeficiente adimensional en la fórmula del coeficiente de Christiansen depende teóricamente de la fórmula utilizada en las pérdidas de carga. Según la Universidad de Sevilla<sup>74</sup>, estos valores de  $\beta$  son:

<sup>73</sup> UNIVERSITAT JAUME I. Tema 3 Riego por goteo: Fundamentos hidráulicos. Ingeniería técnica agrícola, Área mecánica de fluidos, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Castellón de la Plana.

<sup>74</sup> UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Open Course Ware: Ingeniería Agroforestal, Hidráulica y Riegos, Tema 10: Riego goteo. [En línea]. Sevilla.: Universidad de Sevilla, 2007. (Recuperado en 04 diciembre 2019). Disponible en: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial\\_01.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_01.htm)

- $\beta = 1,75 \Rightarrow$  Ecuación de Blasius, Cruciani – Margaritoria.
- $\beta = 1,786 \Rightarrow$  Ecuación de Scimeni.
- $\beta = 1,80 \Rightarrow$  Ecuación de Iso, Veronese – Daite.
- $\beta = 1,85 \Rightarrow$  Ecuación de Hazen – Williams.
- $\beta = 2,00 \Rightarrow$  Ecuación de Manning, Darcy – Weisbach.

Sin embargo, en la práctica se toman los siguientes valores aproximados del coeficiente, a partir del material de las tuberías:

- $\beta = 1,75 \Rightarrow$  Tuberías de Polietileno (PE).
- $\beta = 1,80 \Rightarrow$  Tuberías de Cloruro de vinilo (PVC).
- $\beta = 1,85 - 1,90 \Rightarrow$  Tuberías de aluminio.

**2.5.2.5 Pérdida de carga admisible en tuberías laterales ( $h_{f.lateral.admisible}$ ).** El criterio económico de diseño en los sistemas de riego "ha comprobado que el coste mínimo de la instalación ocurre cuando el 55% de las pérdidas admisibles en la subunidad se producen en los laterales, mientras que el 45% restante se produce en las tuberías terciarias o porta-laterales"<sup>75</sup>. A partir de esta condición, es posible encontrar una expresión para la pérdida de carga admisible en tuberías laterales, así:

$$h_{f.lateral.admisible} = 0,55 \times \Delta P_{gotero} = 0,55 \times \left( \frac{0,1}{X} \times P_{gotero} \right)$$

$$h_{f.lateral.admisible} = \frac{0,055}{X} \times P_{gotero} \quad \text{Ecuación 2.27}$$

donde  $P_{gotero}$  es la presión nominal del emisor [mca] y  $x$  es el exponente de descarga del emisor.

**2.5.2.6 Presión en el origen de la tubería lateral ( $P_{inicial_L}$ ).** Según el ingeniero Miguel Á. Monge está comprobado que en las tuberías laterales de los sistemas de riego por goteo la diferencia de presión entre dos goteros consecutivos es superior en los tramos iniciales, en comparación al final de la tubería. "De hecho, la presión media en el lateral se sitúa a una distancia del origen de  $0,39 \times Long_L$  (...) En este tramo inicial se produce el 73% de la pérdida de carga"<sup>76</sup>.

<sup>75</sup> UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Open Course Ware: Ingeniería Agroforestal, Hidráulica y Riegos, Tema 10: Riego goteo. [En línea]. Sevilla.: Universidad de Sevilla, 2007. (Recuperado en 04 diciembre 2019). Disponible en: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial\\_01.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_01.htm)

<sup>76</sup> MONGE REDONDO, Miguel Ángel. ¿Por qué no al final? [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgua. 2019. (Recuperado en 29 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/que-no-al-final>

En los cálculos del diseño hidráulico de un sistema de riego por goteo es común hacer coincidir la presión media del lateral con la presión nominal del gotero, como se muestra en la Figura 8. Debido a que en el primer tercio del lateral se produce el 73% de las pérdidas de carga en la tubería, la expresión para calcular la presión en el origen del lateral es:

$$P_{inicial_L} = P_{media_L} + (0,73 \times h_{f.lateral}) + (\Delta Z_L/2) \quad \text{Ecuación 2.28}$$

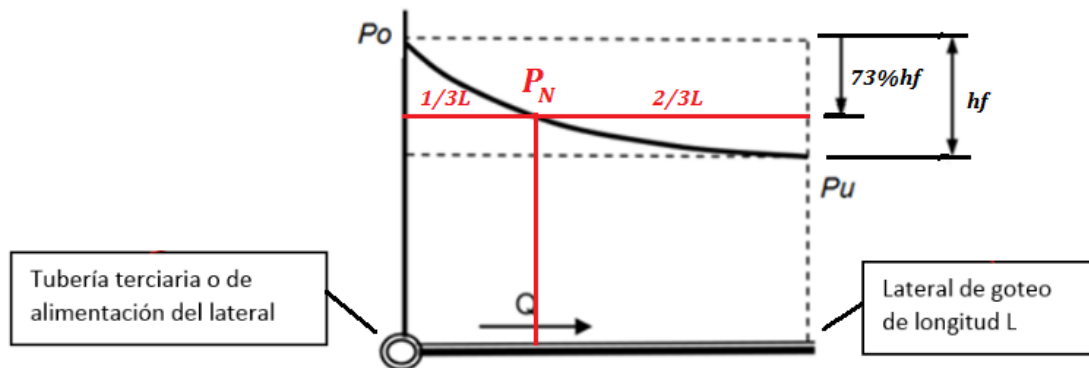
donde  $P_{media_L} = P_{gotero}$  es la presión nominal del emisor [mca],  $h_{f.lateral}$  es la pérdida de carga en la tubería lateral [mca] y  $\Delta Z$  es el desnivel geométrico entre los extremos del lateral [m].

--- **Desnivel geométrico entre los extremos del lateral ( $\Delta Z_L$ ).** Corresponde al valor de la diferencia de cotas entre los dos extremos de la tubería lateral. La expresión para el cálculo del desnivel geométrico a partir del porcentaje de pendiente del terreno es:

$$\Delta Z_L = (\pm) ( (Pendiente \times Long_L) / 100 ) \quad \text{Ecuación 2.29}$$

donde  $(\pm)$  es positivo (+) cuando el desnivel es ascendente y negativo (-) para desniveles descendentes, *Pendiente* es el valor del porcentaje de pendiente del terreno [%] y  $Long_L$  es la longitud de la tubería lateral [m].

Figura 8. Curva de presiones en un lateral horizontal

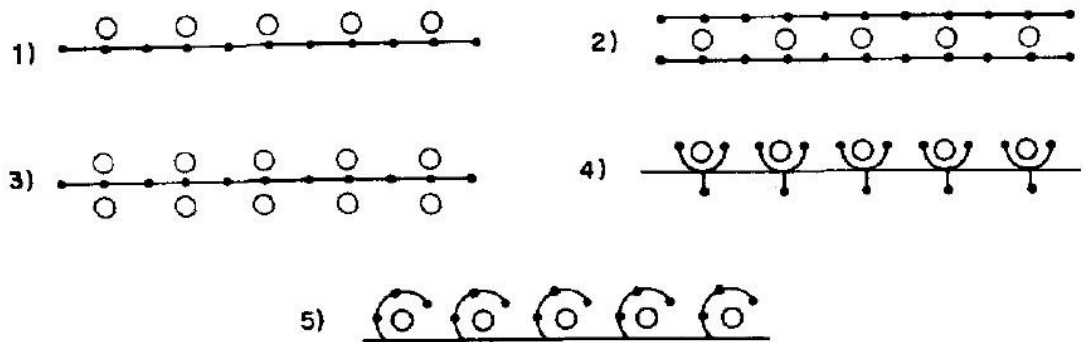


Fuente: MONGE REDONDO, Miguel Ángel. ¿Por qué no al final? [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgua. 2019. (Recuperado en 29 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/que-no-al-final>

**2.5.2.7 Disposición de tuberías laterales y emisores.** Asegurar la correcta disposición de los emisores (goteros) en cuanto a la planta permite el uso eficiente del agua y óptimo crecimiento de sus raíces. Es necesario mantener una distancia precisa que permita facilitar el desarrollo sin provocar saturación en la zona del tronco. La selección de una disposición apropiada de emisores sobre las tuberías laterales se lleva a cabo mediante diferentes criterios de diseño (véase Sección 2.4.8) y condiciones específicas de trabajo para cada cultivo.

Las disposiciones más comunes<sup>77</sup> se muestran en la Figura 9, donde (1) corresponde a una tubería por cada fila de plantas, (2) dos tuberías por cada fila de plantas, (3) una tubería entre cada dos filas de plantas, (4) una tubería por cada fila de plantas con gotero múltiple y (5) una tubería por cada fila de plantas con los goteros dispuestos en anillos.

Figura 9. Disposición típica de goteros en tuberías laterales



Fuente: FUENTES YAGÜE, José Luis y GARCÍA LEGASPI, Guillermo. Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México D.F.: Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., 1999. p.282.

**2.5.3 Tuberías terciarias o porta-laterales.** Las tuberías terciarias o porta-laterales se encargan de transportar el agua desde la válvula de control de presión hasta las tuberías laterales. El conjunto de tubería terciaria con sus respectivas tuberías laterales porta emisores conforman una subunidad (véase Figura 6).

El análisis de las tuberías terciarias es similar al expuesto anteriormente para las tuberías laterales, debido a que ambas son tuberías con consumos intermedios.

<sup>77</sup> FUENTES YAGÜE, José Luis y GARCÍA LEGASPI, Guillermo. Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México D.F.: Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., 1999. p. 322.

**2.5.3.1 Pérdidas de carga en tuberías terciarias ( $h_{f.terc}$ ).** Las pérdidas de carga en tuberías terciarias, igual que en tuberías laterales (tuberías con consumos intermedios), se analizan a partir de la sumatoria de pérdidas en cada tramo (distancia entre laterales)<sup>78</sup>, así:

$$h_{f.terc} = h_{f.T} \times F_{c.T} \quad \text{Ecuación 2.30}$$

donde  $h_{f.T}$  pérdida de carga unitaria en la terciaria [ $mca$ ] y  $F_{c.T}$  es el coeficiente de Christiansen.

**2.5.3.2 Pérdidas de carga unitaria en tuberías terciaria ( $h_{f.T}$ ).** Siguiendo el mismo análisis realizado para las tuberías laterales (véase Sección 2.5.2.3) el cálculo de las pérdidas de carga unitaria por fricción en tuberías terciarias en sistemas de riego por goteo se determina a partir de la ecuación de Darcy - Weisbach, así:

$$h_{f.T} = \frac{1}{12,1} \times \frac{f_{terc} \times Long_{terc} \times (\dot{Q}_{terc})^2}{(Di_{terc})^5} \quad \text{Ecuación 2.31}$$

donde  $h_{f.T}$  es la pérdida de carga unitaria por fricción en [ $mca$ ],  $(1/12,1)$  es un valor constante resultado de la transformación de la ecuación expresada en términos de la velocidad correspondiente a  $(8/g\pi^2)$ ,  $f_{terc}$  es el Factor de fricción de Darcy,  $Long_{terc}$  es la longitud de la tubería terciaria [ $m$ ],  $\dot{Q}_{terc}$  es el caudal en la tubería terciaria [ $m^3/s$ ] y  $Di_{terc}$  es el diámetro interior de la tubería terciaria [ $m$ ].

--- **Factor de fricción de Darcy en la tubería terciaria ( $f_{terc}$ ).** Conceptualmente, el factor de fricción de Darcy depende del Número de Reynolds ( $Re$ ) y la Rugosidad relativa ( $RR$ ), según lo mencionado anteriormente en el Factor de fricción de Darcy en la tubería lateral (véase Sección 2.5.2.3). Es decir, la determinación de este valor se mantiene dependiente al Diagrama de Moody o al uso de software que operan mediante la expresión del factor de fricción de Churchill.

---

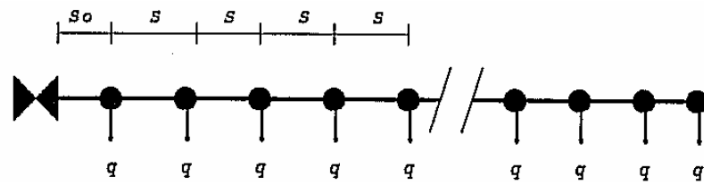
<sup>78</sup> UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Open Course Ware: Ingeniería Agroforestal, Hidráulica y Riegos, Tema 10: Riego goteo. [En línea]. Sevilla.: Universidad de Sevilla, 2007. (Recuperado en 04 diciembre 2019). Disponible en: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial\\_01.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_01.htm)

--- **Longitud de la tubería terciaria ( $Long_{terc}$ ).** La longitud de la tubería terciaria depende principalmente de la disposición de las tuberías laterales, que a su vez está sujeta a la determinación del número de emisores mínimo para cada planta. De la misma forma, a partir de la disposición de laterales y goteros seleccionada, la tubería terciaria presentará diferentes características de consumo. Es posible definir expresiones para la longitud de la tubería terciaria en función de las particularidades de su consumo.

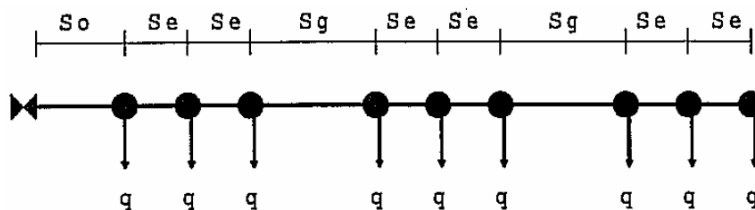
La Figura 10 puede ilustrar mejor la disposición de los laterales en la tubería terciaria. Observe que (a) corresponde a una tubería terciaria con consumos intermedios equidistantes (debido a la distribución de un lateral por fila de plantas) y (b) muestra una tubería terciaria con consumos intermedios agrupados, como es el caso de una disposición de doble lateral por fila de plantas.

Figura 10. Disposición de tuberías con consumos intermedios (a) equidistantes y (b) agrupados.

(a) Tubería con consumos intermedios equidistantes



(b) Tubería con consumos intermedios agrupados



Fuente: UNIVERSITAT JAUME I. Tema 3 Riego por goteo: Fundamentos hidráulicos. Ingeniería técnica agrícola, Área mecánica de fluidos, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Castellón de la Plana.

Teniendo en cuenta esta distribución, existen entonces dos posibles expresiones para el cálculo de la longitud, dependiendo de cuál sea el caso.

La expresión para el cálculo de la longitud de una tubería terciaria con consumos intermedios equidistantes<sup>79</sup> es:

$$Long_{terc} = Long_{T.0} + (N_{laterales} - 1) \times Dist_{laterales} \quad \text{Ecuación 2.32}$$

donde  $Long_{T.0}$  es la distancia desde el inicio de la terciaria hasta el primer lateral [m],  $N_{laterales}$  es el número de laterales presentes en la tubería terciaria [laterales] y  $Dist_{laterales}$  es la distancia de separación entre las tuberías laterales en [m].

Si, por el contrario, la tubería terciaria es una línea que presenta consumos intermedios agrupados<sup>80</sup>, la longitud es determinada a partir de la siguiente fórmula:

$$Long_{terc} = (Long_{T.0} - Long_{T.g}) + (N_1 \times N_2 \times Long_{T.L}) + (Long_{T.g} - Long_{T.L}) \times N_2 \quad \text{Ecuación 2.33}$$

donde  $Long_{T.0}$  es la distancia desde el inicio de la terciaria hasta el primer lateral [m],  $Long_{T.g}$  es la distancia entre grupos de tuberías laterales [m],  $Long_{T.L}$  es la distancia entre laterales de un mismo grupo [m],  $N_1$  es el número de laterales por grupo [laterales] y  $N_2$  es el número de grupos en total presentes en la tubería terciaria [grupos].

--- **Caudal de la tubería terciaria ( $\dot{Q}_{terc}$ ).** Asegurar la continuidad y uniformidad en el riego requiere que la tubería terciaria suministre la cantidad de agua que necesita hasta el último de los goteros de la Subunidad. La expresión para la determinación del caudal en la tubería terciaria está definida como:

$$\dot{Q}_{terc} = N_{laterales} \times \dot{Q}_{lateral} \quad \text{Ecuación 2.34}$$

donde  $N_{laterales}$  es el número de tuberías laterales presentes en la tubería terciaria [laterales] y  $\dot{Q}_{lateral}$  es el caudal en el origen de la tubería lateral [ $m^3/s$ ].

---

<sup>79</sup> UNIVERSITAT JAUME I. Tema 3 Riego por goteo: Fundamentos hidráulicos. Ingeniería técnica agrícola, Área mecánica de fluidos, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Castellón de la Plana.

<sup>80</sup> Ibid.

**2.5.3.3 Coeficiente de Christiansen en tuberías terciaria ( $F_{c.T}$ ).** El coeficiente de Christiansen, tanto en las tuberías laterales como terciarias, tiene como propósito sumar cada una de las pérdidas en conducciones con consumos intermedios. La expresión para el cálculo del coeficiente:

$$F_{c.T} = \frac{1}{1+\beta_T} \times \frac{1}{2 \times N_{laterales}} \times \frac{(\beta_T - 1)^{1/2}}{6 \times (N_{laterales})^2} \quad \text{Ecuación 2.35}$$

donde  $N_{laterales}$  es el número de laterales presentes en la tubería terciaria [*laterales*] y  $\beta_T$  es un coeficiente adimensional que depende de la fórmula utilizada en las pérdidas de carga.

--- **Coeficiente adimensional ( $\beta_T$ ).** Este coeficiente adimensional presente en la ecuación del Coeficiente de Christiansen es el mismo mencionado anteriormente en la Sección 2.5.2.4 (véase para contextualizar aspectos generales del término). Según lo expuesto, en la práctica se toman los siguientes valores aproximados del coeficiente, a partir del material de las tuberías:

- $\beta = 1,75 \Rightarrow$  Tuberías de Polietileno (PE).
- $\beta = 1,80 \Rightarrow$  Tuberías de Cloruro de vinilo (PVC).
- $\beta = 1,85 - 1,90 \Rightarrow$  Tuberías de aluminio.

**2.5.3.4 Pérdida de carga admisible en tuberías terciarias ( $h_{f.terc.admisible}$ ).** En la Sección 2.5.2.5 se mencionó que según un criterio de diseño económico el 55% de las pérdidas admisibles en la subunidad debían producirse en las tuberías laterales, y el 45% restante en las tuberías terciarias, para asegurar el coste mínimo de la instalación. Esta condición limita las pérdidas de carga en la tubería terciaria, que serán iguales a la pérdida de carga admisible en la Subunidad menos la pérdida de carga real producida en las tuberías laterales, así:

$$h_{f.terc.admisible} = \left(0,1/X \times P_{gotero}\right) - h_{f.lateral} \quad \text{Ecuación 2.36}$$

donde  $0,1/X \times P_{gotero}$  es la pérdida de carga admisible en la subunidad (máxima variación de la presión entre goteros) [*mca*] y  $h_{f.lateral}$  es la pérdida de carga en la tubería lateral [*mca*].

**2.5.3.5 Presión en el origen de la tubería terciaria ( $P_{inicial_T}$ ).** La presión en el origen de una tubería terciaria presenta el mismo análisis conceptual explicado con anterioridad para la presión en el origen de la tubería lateral (véase Sección 2.5.2.6). Realizando la similitud, la expresión para el cálculo es:

$$P_{inicial_T} = P_{media_T} + (0,73 \times h_{f.terc}) + (\Delta Z_T/2) \quad \text{Ecuación 2.37}$$

donde  $P_{media_T} = P_{gotero}$  es la presión nominal del emisor [ $mca$ ],  $h_{f.terc}$  es la pérdida de carga en la tubería terciaria [ $mca$ ] y  $\Delta Z$  es el desnivel geométrico entre los extremos de la terciaria [ $m$ ].

--- **Desnivel geométrico entre los extremos de la terciaria ( $\Delta Z_T$ ).** Al igual que en la tubería lateral, se determina mediante la siguiente expresión:

$$\Delta Z_t = (\pm) ( (Pendiente \times Long_{terc}) / 100 ) \quad \text{Ecuación 2.38}$$

donde  $(\pm)$  es positivo (+) cuando el desnivel es ascendente y negativo (-) para desniveles descendentes,  $Pendiente$  es el valor del porcentaje de pendiente del terreno [%] y  $Long_{terc}$  es la longitud de la tubería terciaria [ $m$ ].

**2.5.4 Tuberías secundarias y primarias.** Las tuberías primarias son las líneas de conducción de las que se derivan las tuberías secundarias; así mismo, las tuberías secundarias son las encargadas de alimentar las terciarias.

**2.5.4.1 Pérdidas de carga en tuberías secundarias y primarias ( $h_f$ ).** Las tuberías secundarias y primarias son líneas de conducción simples, sin consumos intermedios (como en las tuberías laterales y terciarias). Debido a esto, las pérdidas de carga en este tipo de líneas se determinan a partir de la ecuación de Darcy - Weisbach directamente:

$$h_f = \frac{1}{12,1} \times \frac{f \times Long \times (\dot{Q})^2}{(Di)^5} \quad \text{Ecuación 2.39}$$

donde  $h_f$  es la pérdida de carga por fricción en toda la tubería [ $mca$ ],  $(1/12,1)$  es un valor constante resultado de la transformación de la ecuación expresada en términos de la velocidad

correspondiente a  $(8/g\pi^2)$ ,  $f$  es el Factor de fricción de Darcy,  $Long$  es la longitud de la tubería [ $m$ ],  $\dot{Q}$  es el caudal en la tubería [ $m^3/s$ ] y  $Di$  es el diámetro interior de la tubería [ $m$ ].

**2.5.4.2 Presión en el origen de las tuberías secundarias y primarias (P<sub>inicial</sub>).** En este cálculo se debe considerar principalmente la presión en el origen mayor de todas las tuberías terciarias a las que la línea secundaria se encarga de alimentar; es decir, debe asegurarse que el fluido que entra a través de la tubería secundaria es capaz de cubrir la necesidad de presión mayor entre las presiones de todas las líneas terciarias que alimenta (después de considerar las pérdidas debido a la fricción) para un funcionamiento correcto del sistema de riego. De forma similar, se analiza la presión inicial en las tuberías primarias, y es posible determinar este valor mediante la siguiente expresión:

$$P_{inicial} = (P_{inicial,mayor,deriv}) + (h_f) + (\Delta Z/2) \quad \text{Ecuación 2.40}$$

donde  $P_{inicial,mayor,deriv}$  es la presión inicial mayor entre todas las presiones iniciales de cada una de las derivaciones (líneas) presentes en la tubería [ $mca$ ],  $h_f$  es la pérdida de carga en la tubería [ $mca$ ] y  $\Delta Z$  es el desnivel geométrico entre los extremos de la tubería [ $m$ ].

**2.5.5 Cabezal de riego.** El cabezal de riego se define como "todas las bombas, válvulas, filtros, inyectoros, controladores, equipos de monitoreo y otras instalaciones requeridas para entregar agua a presiones suficientes, a la cantidad y calidad adecuadas para el sistema de riego"<sup>81</sup>. En general, debe asegurarse que el cabezal de riego sea posicionado de forma conveniente para facilitar el mantenimiento y la operación; y a su vez, debe protegerse para evitar daños mecánicos accidentales causados por tractores o implementos agrícolas.

Según Evans, R., Wu, I., y Smajstrala, A.<sup>82</sup> una lista de verificación sugerida para consideraciones durante el diseño estructural de un cabezal de riego destaca:

---

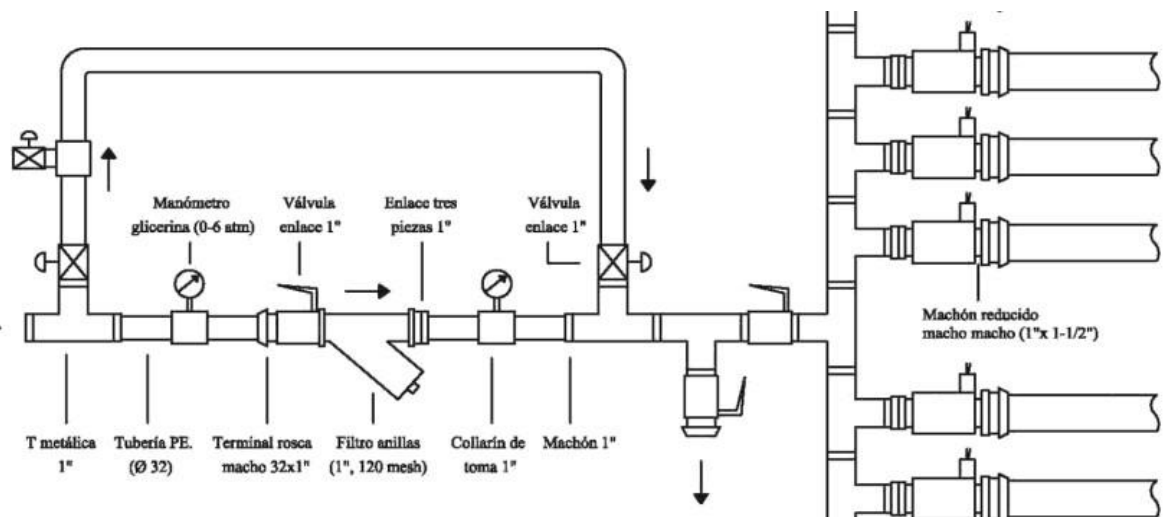
<sup>81</sup> EVANS, Robert G., WU, I-Pai y SMAJSTRALA, Allen G. Chapter 17 Microirrigation systems. En: HOFFMAN, Glenn., *et al.* Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2nd edition. USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, ASABE, 2007. p.632-677.

<sup>82</sup> *Ibid.*, p. 633.

- Posicionar los diversos componentes del cabezal para limpieza, reparación y reemplazo, minimizando posible ingreso de contaminantes al sistema.
- Asegurar que los elementos del cabezal puedan aislarse mediante válvulas para trabajos de mantenimiento y reparación. Así mismo, instalar suficientes uniones, acoplamientos y/o bridas para facilitar el desmontaje de los componentes.
- Seleccionar materiales resistentes que puedan entrar en contacto con productos químicos concentrados (tales como fertilizantes) para todas las tuberías y componentes.

La Figura 11 muestra los principales componentes que conforman un cabezal de riego sin equipo de bombeo. En este caso, no es necesaria la estación de bombeo debido a que el agua llega al cultivo a través de una red de transporte con la presión suficiente.

Figura 11. Esquema de cabezal de riego sin grupo de bombeo.



Fuente: RUIZ CANALES, Antonio. y MOLINA MARTINEZ, José Miguel. Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Barcelona.: MARCOMBO, S.A, 2010. 411 p. ISBN 978-84-267-1634-7.

El cabezal se compone de un conjunto de elementos destinados a cuantificar, tratar, filtrar y suministrar el agua al sistema de distribución. Se destacan principalmente los siguientes componentes:

- **Equipo de bombeo o tanque de almacenamiento.** Se requiere para proporcionar suficiente presión al sistema. Los tanques elevados se pueden usar para áreas de cultivo pequeñas con requisitos de agua comparativamente menores<sup>83</sup>.

- **Unidad de fertilización.** Se emplea para inyectar al sistema fertilizante y está conformada por dos partes: depósito de almacenamiento e inyección. El primero corresponde a tanques resistentes a la corrosión, generalmente de polietileno, con un tamaño dependiente de las necesidades del sistema. La inyección se puede realizar mediante inyección directa o un inyector venturi, éste último muy poco utilizado en sistemas sin equipo de bombeo debido a los requisitos de presión mínima que ocasionan las grandes pérdidas de carga en este elemento<sup>84</sup>.

- **Sistema de filtrado.** Se necesita para minimizar el peligro de bloqueo u obstrucción en el sistema de riego. Los diferentes tipos de filtros usados en sistema de microrriego son: hidrociclones, filtros de grava, filtros de anilla y filtros de malla.

- **Aparatos de control y medición.** Para la medición se destacan los manómetros (presión) y los contadores o caudalímetros (caudal). En el control, se precisan: válvulas de alivio de presión, reguladores o disposición de by-pass en los puntos donde se producen presiones excesivamente altas; y válvulas de retención, empleadas para evitar daños en el flujo de retorno del sistema.

---

<sup>83</sup> TIWARI, K., y RAJPUT, T. Micro Irrigation Systems Design. UG Courses - Agricultural Engineering, Lesson 5 Components of Micro Irrigation System (MIS). [En línea]. Kharagpur.: Indian Institute of Technology Kharagpur, 2014. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=124907>.

<sup>84</sup> Ibid.

**2.5.5.1 Presión necesaria en el origen del cabezal ( $P_{cabezal}$ ).** La presión necesaria en el origen del cabezal debe ser suficiente para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de distribución. Por consiguiente, en esta parte del diseño es importante incluir el cálculo de pérdidas de carga ocasionadas por piezas especiales o accesorios y las generadas en los componentes del cabezal de riego. La expresión para la determinación de la presión en el origen del cabezal es:

$$P_{cabezal} = P_{inicial,primaria} + (\Delta h_{cabezal} + \Delta h_{accesorios}) \quad \text{Ecuación 2.41}$$

donde  $P_{inicial,primaria}$  es la presión inicial requerida en la tubería primaria [mca],  $\Delta h_{cabezal}$  es la sumatoria de pérdidas de carga ocasionadas por los componentes del cabezal [mca] y  $\Delta h_{accesorios}$  es la sumatoria de pérdidas de carga debido a los accesorios en el sistema [mca].

--- **Pérdidas de carga en componentes del cabezal de riego ( $h_{cabezal}$ ).** "En vista del hecho de que no es posible una gran precisión debido a los cambios impredecibles en la rugosidad de la tubería, viscosidad del agua, el desgaste de la boquilla, la obstrucción, etc., se recomienda el uso de tablas"<sup>85</sup>. Según Fuentes, J. y García, G. si no se dispone de los datos para el cálculo de las pérdidas de carga en los componentes del cabezal, a efectos de diseño pueden ser considerados los valores presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de pérdidas de carga típicos en componentes del cabezal de riego

Aparato	Pérdida de carga [mca]	Aparato	Pérdida de carga [mca]
Hidrociclón	2 a 6	Inyector hidráulico	4 a 5
Filtro de grava	2 a 4	Inyector Venturi	5 a 20
Filtro de malla	1 a 3	Regulador de presión	4 a 6
Tanque de fertilización	1 a 4	Válvula	1 a 3

Fuente: FUENTES YAGÜE, José Luis y GARCÍA LEGASPI, Guillermo. Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México D.F.: Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., 1999. p. 332.

<sup>85</sup> FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. System design. En: Handbook on pressurized irrigation techniques. 2nd edition. Rome.: Electronic publishing policy and support branch, 2007. ISBN 978-92-5-105817-6.

--- **Pérdidas de carga localizadas ( $h_{\text{accesorios}}$ ).** Las pérdidas de carga debido a "fenómenos de turbulencia que se originan al paso del líquido por puntos singulares de las tuberías, como cambios de dirección, codos, juntas, derivaciones (...) se conocen como pérdidas de carga accidentales, localizadas o singulares"<sup>86</sup>. La ecuación fundamental para el cálculo de las pérdidas de carga localizadas es:

$$h_{\text{accesorios}} = K \times (V^2/2g) \quad \text{Ecuación 2.42}$$

donde  $K$  es el coeficiente de resistencia en la singularidad (coeficiente empírico único de cada accesorio) [adimensional],  $V$  es la velocidad de entrada al accesorio [m/s] y  $g$  es la aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>].

**2.5.6 Línea de conducción.** La parte final del diseño hidráulico en un sistema de riego por goteo corresponde a la red de conducción o sistema de transporte. La función de esta línea es conducir el fluido desde el tanque de almacenamiento hasta el cabezal de riego, cumpliendo con las especificaciones de caudal y presión necesarias, previamente calculadas en el sistema de distribución.

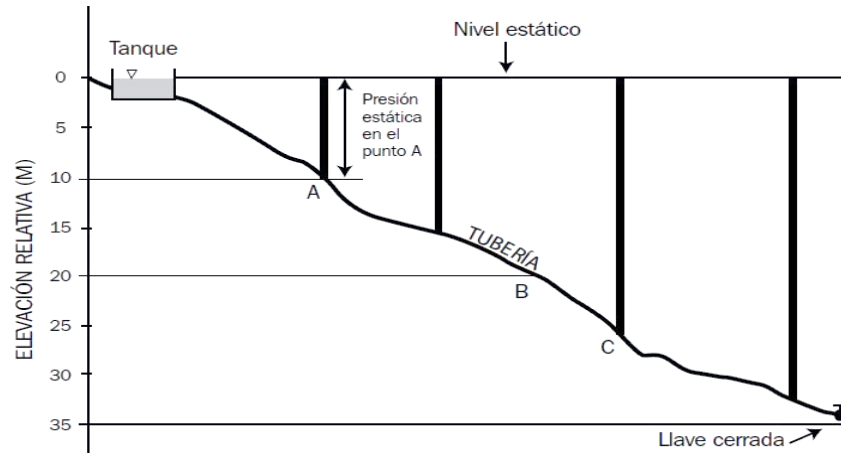
Desplazar el agua de un punto a otro requiere transferencia de energía, y existen dos formas para hacer esto: mediante un equipo de bombeo o empleando un desnivel. En el segundo caso, la conducción es por gravedad y "la presión resultará de la diferencia de cota entre el punto más alto y el punto final de tal manera que a mayor diferencia de cota, mayor presión se consigue en el punto final"<sup>87</sup>. La Figura 12 muestra un sistema de conducción por gravedad.

---

<sup>86</sup> UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Open Course Ware: Ingeniería Agroforestal, Hidráulica y Riegos, Tema 2: Conducciones forzadas. [En línea]. Sevilla.: Universidad de Sevilla, 2007. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%202.Conducciones%20forzadas/tutorial\\_18.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%202.Conducciones%20forzadas/tutorial_18.htm)

<sup>87</sup> MONGE REDONDO, Miguel Ángel. Conducciones por gravedad a sección llena. [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgua. 2019. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/conducciones-gravedad-seccion-llena>

Figura 12. Conducción por gravedad en equilibrio estático.



Fuente: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego. [En línea]. 2007, p. 120. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

Según el Ing. Monge, M. para conocer si la línea de conducción está bien diseñada; es decir, bien elegido el diámetro de la tubería o manguera, se precisa saber por un lado la presión mínima que se necesita en el punto final, y, por otra parte, las pérdidas de presión que se producen en el recorrido del agua.

Si se llegase a presentar que la diferencia de cota entre el tanque de almacenamiento y el cabezal de riego es excesiva, entonces la presión en el punto final será demasiado alta, pero es un inconveniente que se puede resolver con la instalación de una válvula reductora de presión. Sin embargo, "presiones inferiores a la presión de servicio necesaria en el punto final, no pueden ser corregidas a no ser que se instale un equipo de bombeo"<sup>88</sup>. Así mismo, debe verificarse que el consumo máximo de agua en la parte final de la línea no sobrepase la capacidad de transporte de la tubería. Para evitar superar el límite asignado se debe considerar la velocidad de circulación del agua en el interior de la conducción.

<sup>88</sup> MONGE REDONDO, Miguel Ángel. Conducciones por gravedad a sección llena. [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgua. 2019. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/conducciones-gravedad-seccion-llena>

**2.5.6.1 Rangos admisibles de velocidades en la línea de conducción.** Como se sabe, la velocidad del agua es proporcional al caudal, y debido a que el fluido en este tipo de conducciones ocupa toda la sección interior de la tubería o manguera, la velocidad se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$Vel_{fluido} = \frac{\dot{Q}_{fluido}}{(\pi \times D^2 / 4)} \quad \text{Ecuación 2.43}$$

donde  $Vel_{fluido}$  es la velocidad del agua a través de la tubería en [m/s],  $\dot{Q}_{fluido}$  es el caudal del agua en [m<sup>3</sup>/s] y  $D$  es el diámetro interior de la tubería o manguera en [m].

Según la FAO para determinar la validez de los diámetros seleccionados en la línea de conducción, se establecen unos rangos de velocidades máxima y mínima (véase Tabla 5) "La velocidad máxima pretende contribuir a evitar los fenómenos de golpe de ariete y cavitación, mientras que la velocidad mínima se establece para impedir la deposición en la tubería o manguera de cualquier tipo de partícula o impureza que pudiera ser acarreada por el agua"<sup>89</sup>.

Los rangos de velocidad aplicables a casos extremos son los que se aceptan cuando no sea posible la utilización de algún otro diámetro en la línea.

Tabla 5. Rangos de velocidades en tuberías y mangueras

Material de la tubería o manguera	Rango deseable [m/s]	Rango en casos extremos [m/s]
Polietileno no normalizado	0,5 - 0,7	0,3 - 0,7
PVC, HG o PE normalizado	0,5 - 3,0	0,5 - 5,0

Fuente: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 150. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

<sup>89</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 150. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

**2.5.6.2 Pérdidas de carga en la línea de conducción.** Como se ha mencionado anteriormente, a lo largo de una tubería se presentan dos tipos de pérdidas de carga: por fricción y localizadas. La línea de conducción del sistema de transporte no es la excepción, debido a que generalmente recorre grandes distancias (aumentando las pérdidas por fricción) y necesita la instalación de dispositivos de control (válvulas reguladoras de presión o válvulas de control de flujo).

Para el cálculo de las pérdidas de carga en la línea de conducción se usa la ecuación de la energía expresada en su forma más común, eliminando los términos de pérdidas ocasionadas por bomba y turbina (ya que el sistema de riego de aplicación no contará con estos equipos). Los puntos 1 y 2 corresponden al punto inicial y final del recorrido de la tubería de conducción, respectivamente.

El primer término de la ecuación ( $P/\gamma$ ) es la energía de flujo, el segundo término ( $V^2/2g$ ) es la energía cinética y el último ( $Z$ ) es la energía potencial del fluido.

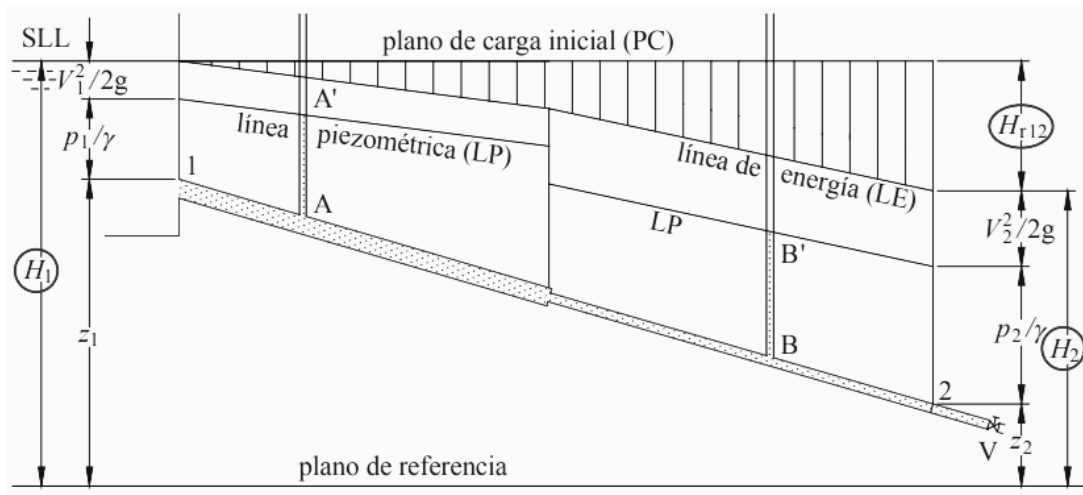
$$H_1 = H_2 + h_T$$

$$\Rightarrow \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_T \quad \text{Ecuación 2.44}$$

donde  $H$  es la energía en el punto [ $mca$ ],  $P$  es la presión en el punto [ $Pa$ ],  $\gamma$  es la gravedad específica del agua [ $Pa/m$ ],  $g$  es la aceleración de la gravedad [ $m/s^2$ ],  $Z$  es la altura del punto respecto a un eje de referencia establecido [ $m$ ] y  $h_T$  son las pérdidas de carga totales (pérdidas de carga por fricción y por accesorios) en la tubería [ $mca$ ].

Como se observa en la Figura 13 la línea imaginaria que une los puntos donde llegarían las columnas de agua debido a la energía de flujo se denomina línea piezométrica (LP) o línea de gradiente hidráulico (LGH); así mismo, la línea imaginaria que une los puntos de columna de agua correspondiente a la suma de energías de flujo y cinética se conoce como línea de energía (LE).

Figura 13. Conducción por gravedad en equilibrio dinámico.

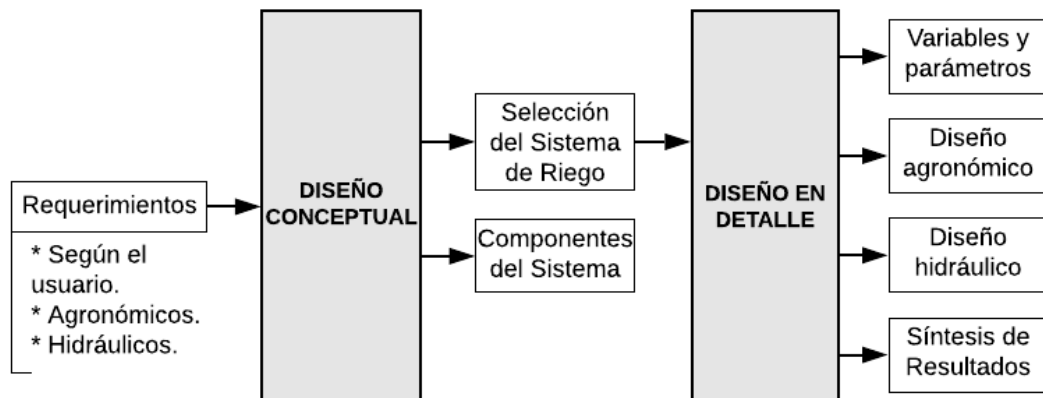


Fuente: SORIANO AGÜERA, José. Ecuaciones fundamentales de un flujo. [En línea]. 2011. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: <http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/fluidos%203.pdf>

### 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

El diseño del sistema de riego se aborda en dos fases: diseño conceptual y en detalle. En la primera, se evalúan los posibles tipos de sistemas de riego con respecto a los requerimientos según el usuario, para encontrar la solución más idónea. La fase de diseño en detalle busca definir completamente las variables y parámetros relevantes del sistema de riego seleccionado mediante el diseño agronómico e hidráulico, y sus respectivos cálculos.

Figura 14. Fases en el diseño del sistema de riego



#### 3.1 DISEÑO CONCEPTUAL

El proceso de diseño conceptual busca concebir los posibles sistemas de riego que den solución a la necesidad planteada a partir del cumplimiento de los requerimientos, especificaciones y restricciones, proporcionadas tanto por el usuario como por el diseñador. Los principales criterios en los que se basa el diseño conceptual son de tiempo ambiental, social, ético, económico y técnico. Igualmente, se mantiene activa la relación usuario-diseñador, para anticipar a tiempo la efectividad de las alternativas propuestas en la solución del problema.

**3.1.1 Requerimientos según el usuario.** En contacto directo con el doctor Fabio A. Villafrades González propietario del cultivo de guanábana en la Finca Villa María se establecen, agrupan y describen los principales requerimientos del sistema de riego. La información se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Requerimientos según el usuario

Requerimientos		Descripción
<b>Requerimientos según el usuario</b> del sistema de riego	<b>Propósito</b> Aprovechamiento del Recurso Hídrico	El sistema de riego debe reducir el consumo de agua garantizando la productividad del cultivo.
	Cuidado de los árboles de guanábana	Evitar acumulación de humedad en el fruto que promueve la aparición de plagas y hongos.
	Cuidado del terreno de plantación	La disposición del sistema de riego no debe interferir con las actividades de poda, abono y polinización.
	Eficiencia de Riego	Garantizar la productividad del cultivo disminuyendo el consumo de agua y la cantidad de recursos (energía, componentes).
	Operabilidad	Asegurar que el sistema de riego pueda ser operado por obreros de la región.
	Mantenibilidad	Realización de reparaciones y cambios con la mayor facilidad posible.
	Viabilidad económica	El sistema debe estar al alcance económico para ser fácilmente implementado.

**3.1.2 Requerimientos generales, agronómicos e hidráulicos.** De forma general, los requerimientos (requisitos) se definen como el conjunto de características, capacidades o funciones que debe cumplir el proyecto o producto tecnológico, con la finalidad de solucionar la problemática o satisfacer las necesidades a partir de su factibilidad, funcionalidad, seguridad y viabilidad. El conjunto de requerimientos generales, agronómicos e hidráulicos para el diseño del sistema de riego se agrupa y sintetiza en la Tabla 7.

Tabla 7. Requerimientos generales, agronómicos e hidráulicos

Requerimientos		Descripción
<b>Requerimientos agronómicos</b> del sistema de riego	<b>Propósito</b> Uniformidad de riego	Asegurar que todos los guanábanos sean regados con la dosis necesaria de agua.
	Suministro efectivo	Dar a cada guanábano la cantidad de agua necesaria y en el intervalo de riego más óptimo.
	Disposición de emisores	La ubicación de los emisores debe asegurar que los patrones de humedad se encuentren dentro de la zona de la raíz de cada árbol de guanábana.
	Emisores	Seleccionar teniendo en cuenta las características radiculares del cultivo de guanábana.
<b>Requerimientos hidráulicos</b> del sistema de riego	<b>Propósito</b> Capacidad hidráulica	Asegurar que el sistema pueda cumplir con las demandas máximas de riego durante los periodos más secos del año.
	Tuberías	Seleccionar en función del manejo del caudal y la mínima generación de pérdidas.
	División del cultivo	Establecer áreas o secciones de suministro de agua, posicionando las válvulas para aislar hidráulicamente componentes que requieren limpieza frecuente.
<b>Requerimientos generales</b> del sistema de riego	Potencia consumida	Reducir el consumo de energía implementando un sistema de riego por gravedad.
	Instalación accesible de alta calidad	Asegurar la calidad de la instalación mediante: suministro constante de agua, facilidad de operación, productos con larga vida útil, evitando al máximo las fugas y cumpliendo con los criterios hidráulicos - económicos establecidos para los sistema de microriego.

**3.1.3 Selección del sistema de riego adecuado.** El proceso de selección del tipo de sistema de riego que mejor se adapta y responde a las necesidades del cultivo se lleva a cabo mediante el despliegue de la función calidad (Q.F.D. –

Quality Function Deployment) y el método de Pugh. Con la primera herramienta, se busca determinar los requerimientos generales, agronómicos e hidráulicos que implementan de forma técnica la mayor cantidad de requisitos según el usuario. Y, con la segunda, encontrar el tipo de sistema de riego que mejor responde a estos requerimientos técnicos que se comportan ahora como criterios de evaluación.

--- **Despliegue de la Función Calidad (Q.F.D.)** La matriz Q.F.D. presenta la relación entre ¿Qué necesita el cliente? y ¿Cómo implementar esas necesidades? siendo estos los requerimientos según el usuario y los requerimientos técnicos, respectivamente.

Tabla 8. Grados de impacto para la matriz Q.F.D.

Impacto	Puntuación
Fuerte	9
Medio	3
Bajo	1
Nulo	0

Tabla 9. Matriz Q.F.D.

¿Qué?	¿Cómo?																										
	Importancia para el usuario	Uniformidad de riego			Suministro efectivo			Disposición de los emisores			Emisores			Capacidad hidráulica			Tuberías			División del cultivo			Potencia consumida			Instalación accesible de alta calidad	
Aprovechamiento recurso hídrico	7	9	81	9	63	3	21	3	21	3	21	3	21	3	21	0	0	1	7	9	63						
Eficiencia de riego	6	9	81	9	54	3	18	9	54	9	54	3	18	3	18	3	18	3	18	9	54						
Cuidado árboles de guanábana	5	9	81	3	15	9	45	3	15	9	45	0	0	3	15	0	0	3	15	0	0	3	15				
Cuidado terreno de aplicación	4	1	1	1	4	9	36	1	4	1	4	1	4	9	36	0	0	1	4	9	36						
Operabilidad	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	3	9	1	3	1	3	9	27	9	27						
Mantenibilidad	2	0	0	0	0	1	2	1	2	0	0	3	6	9	18	1	2	9	18	9	18						
Viabilidad económica	1	1	1	1	1	0	0	3	3	0	0	3	3	1	1	9	9	9	9	9	9						
<b>Total</b>				245	137	125	99	124	61	91	39	190															

Tabla 10. Resultados de la matriz Q.F.D.

Prioridad	Criterios de evaluación	Valor total	Porcentaje (%)
1	Uniformidad de riego	245	29,84
2	Instalación accesible de alta calidad	190	23,14
3	Suministro efectivo	137	16,69
4	Disposición de los emisores	125	15,23
5	Capacidad hidráulica	124	15,10
<b>Total</b>		<b>821</b>	<b>100</b>

--- **Método de Pugh.** Los requerimientos técnicos más influyentes determinados mediante la matriz Q.F.D. (véase Tabla 10) se convierten en criterios de evaluación para la matriz de Pugh, donde se evalúa la respuesta de tres tipos de sistemas de riego con varios grados aceptación.

Tabla 11. Grados de aceptación para la matriz de Pugh

Grado de aceptación	Valor asignado	Grado de aceptación	Valor asignado
Excelente	5	Aceptable	2
Muy bueno	4	Deficiente	1
Bueno	3		

Tabla 12. Matriz de Pugh

Criterios de evaluación	Porcentaje (%)	Sistemas de Riego					
		Inundación		Aspersión		Goteo	
Uniformidad de riego	29,84	2	0,60	2	0,60	5	1,49
Instalación accesible de alta calidad	23,14	4	0,93	4	0,93	4	0,93
Suministro efectivo	16,69	2	0,33	3	0,50	5	0,83
Disposición de los emisores	15,23	3	0,46	4	0,61	4	0,61
Capacidad hidráulica	15,10	4	0,60	4	0,60	4	0,60
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>2,92</b>		<b>3,24</b>		<b>4,47</b>	

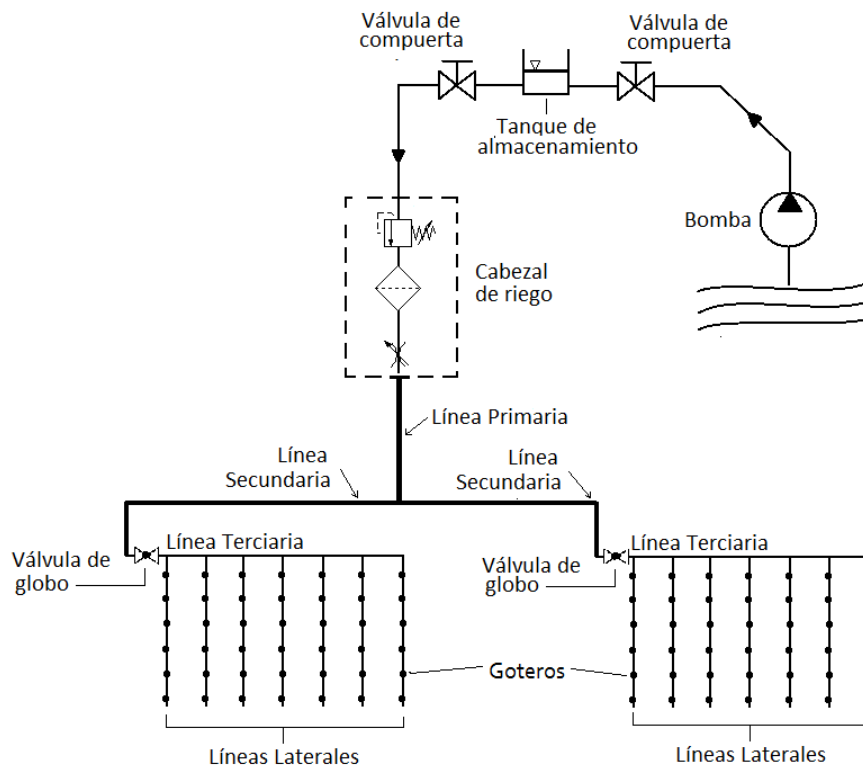
A partir de los resultados obtenidos, es posible seleccionar el tipo de sistema de riego que responde de forma más idónea a los principales requerimientos técnicos: sistema de riego por goteo.

Tabla 13. Resultados de la matriz de Pugh

Sistemas de Riego	Puntuación
Inundación	2,92
Aspersión	3,24
Goteo	4,47

**3.1.4 Componentes del sistema de riego.** La Figura 15 muestra los principales componentes en un sistema de riego por goteo.

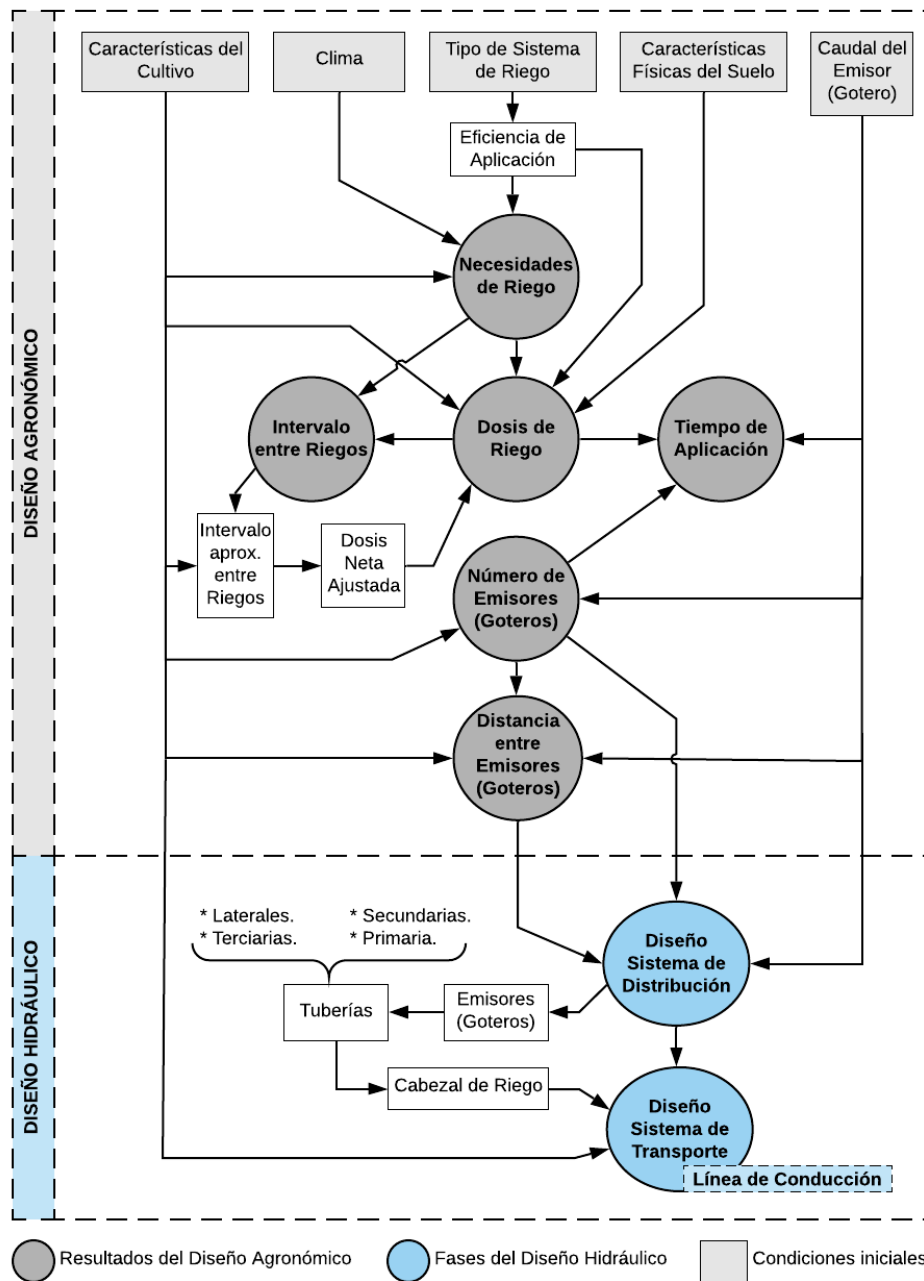
Figura 15. Identificación de los componentes del sistema de riego



### 3.2 DISEÑO EN DETALLE

El proceso de diseño en detalle se divide en dos etapas: diseño agronómico y diseño hidráulico. En ambas, se llevan a cabo los cálculos necesarios para la determinación de cada una de las variables y parámetros relacionados.

Figura 16. Etapas en el proceso de diseño en detalle



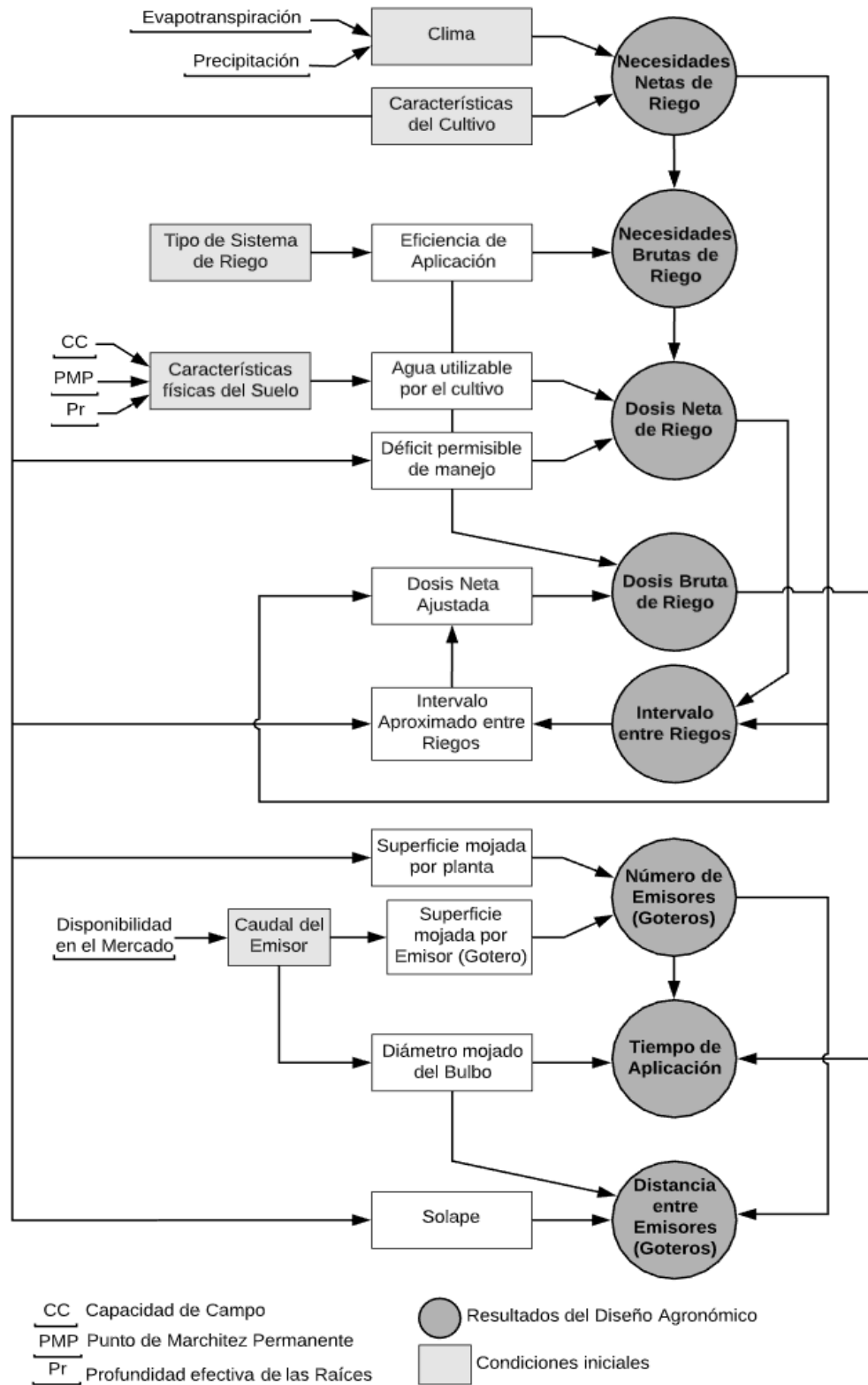
### 3.2.1 Variables y parámetros de diseño.

Tabla 14. Variables y parámetros de diseño.

Variables		Parámetros
Necesidades de Riego	Características del Cultivo	Tipo de cultivo
		Edad del cultivo
	Clima	Evapotranspiración de cultivo
		Precipitación efectiva
Tipo de sistema de riego	Eficiencia de aplicación	
Dosis de Riego	Características del Cultivo	Déficit permisible de manejo
	Características Físicas Suelo	Agua utilizable por el cultivo
	Dosis neta de riego ajustada	
Intervalo entre riegos aprox.	Intervalo entre riegos	
Número de emisores	Características del Cultivo	Superficie mojada por planta
	Caudal del emisor (gotero)	Superficie mojada por emisor
Tiempo de aplicación	Caudal del emisor (gotero)	Diámetro mojado del bulbo húmedo
Distancia entre emisores		
Disposición de tuberías	Tuberías sublaterales y laterales	Tipo de emisores
		Número de emisores
		Disposición de emisores
Caudal del Sistema	Número de árboles en el cultivo   Necesidad hídrica de cada árbol en el cultivo	
Pérdidas del sistema	Longitud de tuberías   Diámetro de tuberías   Accesorios	

**3.2.2 Diseño agronómico del sistema de riego.** A continuación, se muestran los pasos necesarios para el cálculo de: necesidades de riego, dosis de riego, tiempo de aplicación, número de emisores, intervalo entre riegos, entre otros. La relación entre estas variables agronómicas se esquematiza en la Figura 17.

Figura 17. Diseño agronómico del sistema de riego



**3.2.2.1 Necesidades netas de riego máximas ( $N_n$ ).** La determinación de las necesidades netas de riego máximas del cultivo se realiza llevando a cabo los siguientes pasos:

**Paso 1: Cálculo de la precipitación confiable mensual.** Los valores de Precipitación Total Mensual empleados en el desarrollo del proyecto fueron proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). La información corresponde a la estación climatológica más cercana al área del cultivo de guanábana:

- Departamento: Santander.
- Estación: Aeropuerto Palonegro.
- Municipio: Lebrija.
- Código: 23195502.

La serie de datos suministrados por el IDEAM se ordenan, agrupan y promedian en La Tabla 14. El periodo de tiempo a considerar en el cálculo de la precipitación confiable será desde el año 2010 hasta el año 2016. No se decide tener en cuenta valores actuales (año 2018 en adelante), debido a que en el "Paso 3. Cálculo de la evapotranspiración de referencia" sólo se cuenta con datos hasta el año 2016. El objetivo es trabajar con información que se encuentre en la misma franja de tiempo.

Tabla 15. Series de datos de valores de precipitación total mensual

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2010	3,2	39,7	33,8	51,3	188,7	120	118,2	129,9	195,4	151,3	235,1	305,9	1572,5
2011	28,3	86,5	70	170,7	177,7	91,2	67,6	136,1	93,7	389,1	89,7	113,1	1513,7
2012	62,9	10,9	99,3	168,3	35,7	142,8	103	87,5	35,4	269,8	165,6	139,6	1320,8
2013	63,6	195,3	184,3	32,5	208,8	37,7	38,1	179,2	61,5	114,6	118,8	29,1	1263,5
2014	33,7	148,4	41	71,8	88,7	60,3	88	97,6	81,4	224,6	121,8	40,5	1097,8
2015	40,8	115,7	103	69,8	68,9	21,4	52	73,3	38,8	13,6	71,6	6,2	675,1
2016	49,5	43	75,8	80,7	142,8	72,1	92,6	48,5	40,6	105,5	139,1	19,3	909,5
<b>Promedios</b>	<b>40,29</b>	<b>91,36</b>	<b>86,74</b>	<b>92,16</b>	<b>130,19</b>	<b>77,93</b>	<b>79,93</b>	<b>107,44</b>	<b>78,11</b>	<b>181,21</b>	<b>134,53</b>	<b>93,39</b>	<b>1193,27</b>

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA, IDEAM. Consulta: Descarga datos hidrometeorológicos. [En línea]. (Recuperado en 30 septiembre 2019). Disponible en: [dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/](http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/)

Debido a que Colombia posee características climáticas de alta variabilidad interanual es recomendable trabajar con datos de precipitación confiable y no promedio. Para esto, se debe establecer un valor porcentual de probabilidad que se va a usar en el cálculo de la precipitación confiable. Teniendo en cuenta las características del terreno, la información de la Sección 2.2.3, la

influencia de los vientos cálidos que no permiten la distribución uniforme de las lluvias en la totalidad del terreno y las recomendaciones de la FAO<sup>90</sup>: se decide trabajar con un valor de probabilidad del 70%. El procedimiento de cálculo se explica detalladamente en *Anexo A. Cálculo de la precipitación confiable*. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 15.

Tabla 16. Precipitación confiable mensual al 70%

	Promedios mensuales de precipitación [mm]	Precipitación mensual confiable al 70% (Ppt. 70%)
Enero	40,29	34,53
Febrero	91,36	78,30
Marzo	86,74	74,34
Abril	92,16	78,98
Mayo	130,19	111,57
Junio	77,93	66,79
Julio	79,93	68,50
Agosto	107,44	92,08
Septiembre	78,11	66,94
Octubre	181,21	155,30
Noviembre	134,53	115,29
Diciembre	93,39	80,04

En conclusión, trabajar con una probabilidad del 70% permite asegurar que estas precipitaciones mensuales van a darse en valor igual o mayor en siete de cada diez años.

**Paso 2: Cálculo de la precipitación efectiva ( $P_e$ ).** Aplicando las Ecuaciones 2.2 y 2.3 (véase Sección 2.4.2.1) de la USSCS, y a partir de los valores de la precipitación mensual confiable al 70% hallados previamente, se calculan los datos correspondientes a la precipitación efectiva. Los resultados se muestran en la Tabla 16.

<sup>90</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 67. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

Tabla 17. Precipitación efectiva

	Precipitación mensual confiable al 70% (Ppt. 70%) [mm/mes]	Precipitación efectiva (Pe) [mm/mes]
Enero	34,53	32,62
Febrero	78,30	68,49
Marzo	74,34	65,49
Abril	78,98	69,00
Mayo	111,57	91,66
Junio	66,79	59,65
Julio	68,50	60,99
Agosto	92,08	78,51
Septiembre	66,94	59,77
Octubre	155,30	116,71
Noviembre	115,29	94,02
Diciembre	80,04	69,79

**Paso 3: Cálculo de la Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ).** Debido a la falta de datos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, se propone trabajar en el presente proyecto con valores ya estimados y proporcionados por el IDEAM, correspondientes a la estación climatológica más cercana al área del cultivo de guanábana: Estación Aeropuerto Palonegro (véase Paso 1). La serie de datos suministrados se ordenan, agrupan y promedian en la Tabla 17.

Tabla 18. Series de datos de evapotranspiración de referencia

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	136,9	155,6	133,1	130,6	114,6	114,9	121,5	109	126,3	81,4	84,7	129
2011	114,8	119,1	116,3	108,7	103,8	112,9	140,4	129,4	132,3	98,1	102,9	124,1
2012	137,4	139,8	124	117	140,6	132,9	144,8	143,2	132	116,3	120,8	161,5
2013	126,6	128,8	123,4	-	128,4	130,7	136,3	138,4	114,8	117	115,3	139,3
2014	128,6	141,1	145,6	125,7	122,9	137,6	138	125,1	-	104,2	120,5	144,1
2015	116,6	133,1	122,5	141,6	125,3	139,3	140,1	151,2	129,2	109,5	140,1	151,7
2016	144,9	152,7	123,3	120,4	121,9	116,7	136	123,6	110,8	-	-	-
<b>Promedios</b>	<b>129,4</b>	<b>138,6</b>	<b>126,9</b>	<b>124,0</b>	<b>122,5</b>	<b>126,4</b>	<b>136,7</b>	<b>131,4</b>	<b>124,2</b>	<b>104,4</b>	<b>114,1</b>	<b>141,6</b>

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA, IDEAM. Consulta: Descarga datos hidrometeorológicos. [En línea]. (Recuperado en 4 octubre 2019). Disponible en: [dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/](http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/)

**Paso 4: Cálculo del Coeficiente adimensional del cultivo ( $K_c$ ).** En el caso particular de la guanábana, árbol frutal de la familia Annonaceae, el factor  $K_c$  se mantiene constante en cada año, incrementando a medida que la planta se desarrolla y avanza en el proceso de crecimiento. Generalmente, la guanábana cuenta con tres años característicos en su fase de cultivo: inicial, media y maduración (etapa de recolección).

Debido a la falta de datos específicos para la guanábana en la literatura recomendada, se opta por utilizar los valores del coeficiente adimensional  $K_c$  determinados por CORPOICA<sup>91</sup> para cinco cultivares de guanábana durante los primeros tres años de su periodo vegetativo.

Los factores  $K_c$  se promedian y agrupan en la Tabla 1918. Los códigos presentados en la primera columna hacen referencia a la nomenclatura abreviada empleada para la identificación de los cultivos; sin embargo, es posible observar que los coeficientes se mantienen en un rango muy similar para cada tipo, por lo que se pretende trabajar con el valor promedio en cada año.

Tabla 19. Coeficiente adimensional de cultivo

Cultivar	Coeficiente adimensional de cultivo ( $K_c$ )		
	Año 1	Año 2	Año 3
TC - STBT - 9	0,45	0,62	0,90
TF - PAOSST - 206	0,44	0,63	0,89
TF - PAOMT - 645	0,45	0,62	0,89
HS - SATT - 1443	0,45	0,62	0,90
HY - GADMT - 112	0,44	0,61	0,88
<b>Promedio</b>	<b>0,45</b>	<b>0,62</b>	<b>0,89</b>

Fuente: CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, CORPOICA. Manejo integrado del cultivo de guanábana: innovaciones tecnológicas. El espinal: Publicación Corpoica, p.61. [En línea]. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6765>

**Paso 5: Cálculo de la Evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ).** A partir de la determinación de los valores de la Evapotranspiración de referencia  $ET_0$  y del coeficiente adimensional del cultivo  $K_c$

<sup>91</sup> CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, CORPOICA. Manejo integrado del cultivo de guanábana: innovaciones tecnológicas. El espinal: Publicación Corpoica, p.61. [En línea]. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6765>

se calcula la  $ET_c$  aplicando la Ecuación 2.4 (véase Sección 2.4.2.2) del método Doorenbos y Pruitt. Los resultados se resumen en la Tabla 19.

Tabla 20. Evapotranspiración del cultivo

Mes	ETo [mm/mes]	ETo [mm/día]	Kc			ETc [mm/día]		
			Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3
Ene	129,4	4,17				1,88	2,59	3,72
Feb	138,6	4,95				2,23	3,07	4,41
Mar	126,9	4,09				1,84	2,54	3,64
Abr	124	4,13				1,86	2,56	3,68
May	122,5	3,95				1,78	2,45	3,52
Jun	126,4	4,21	0,45	0,62	0,89	1,90	2,61	3,75
Jul	136,7	4,41				1,98	2,73	3,92
Ago	131,4	4,24				1,91	2,63	3,77
Sep	124,2	4,14				1,86	2,57	3,68
Oct	104,1	3,36				1,51	2,08	2,99
Nov	114,1	3,80				1,71	2,36	3,38
Dic	141,6	4,57				2,06	2,83	4,07

**Paso 6: Cálculo de las Necesidades netas de riego máximas ( $N_n$ ).** Finalmente, se determinan las Necesidades netas de riego máximas  $N_n$  con la Ecuación 2.1 (véase Sección 2.4.2) en milímetros por día [mm/d] para cada uno de los doce meses que conforman los tres primeros años de periodo vegetativo de la guanábana. Los resultados se presentan en la Tabla 20.

Tabla 21. Necesidades netas de riego máximas

Mes	ETo [mm/día]	ETc [mm/día]			Pe 70% [mm/mes]	Pe 70% [mm/día]	Nn [mm/día]		
		Año 1	Año 2	Año 3			Año 1	Año 2	Año 3
Ene	4,17	1,88	2,59	3,72	32,62	1,05	0,83	1,54	2,66
Feb	4,95	2,23	3,07	4,41	68,49	2,45	0	0,62	1,96
Mar	4,09	1,84	2,54	3,64	65,49	2,11	0	0,43	1,53
Abr	4,13	1,86	2,56	3,68	69,00	2,30	0	0,26	1,38
May	3,95	1,78	2,45	3,52	91,66	2,96	0	0	0,56
Jun	4,21	1,90	2,61	3,75	59,65	1,99	0	0,62	1,76
Jul	4,41	1,98	2,73	3,92	60,99	1,97	0,02	0,77	1,96
Ago	4,24	1,91	2,63	3,77	78,51	2,53	0	0,10	1,24
Sep	4,14	1,86	2,57	3,68	59,77	1,99	0	0,57	1,69
Oct	3,36	1,51	2,08	2,99	116,71	3,76	0	0	0
Nov	3,80	1,71	2,36	3,38	94,02	3,13	0	0	0,25
Dic	4,57	2,06	2,83	4,07	69,79	2,25	0	0,58	1,81

Como se observa en la Tabla 20 las máximas necesidades netas de riego para la guanábana corresponden al mes de enero del 3 año. Debido a esto, se concluye que el máximo valor de diseño (situación crítica) que se va a usar para cálculos agronómicos posteriores es:

$$N_n = 2,66 \text{ [mm/d]}$$

Una observación relevante, las necesidades netas de riego no pueden ser menores que cero. Si el valor de la precipitación efectiva  $P_e$  es mayor que la Evapotranspiración del cultivo  $ET_c$  entonces, lógicamente, el riego es completamente innecesario (cero). Es posible evidenciar esta situación en los meses del 2 al 6 y del 8 al 12 del año 1; los meses 5, 10 y 11 del año 2; y, el mes 10 del año 3.

**3.2.2.2 Necesidades totales de riego ( $N_b$ ).** Se determina a partir de la Ecuación 2.5 (véase Sección 2.4.3) teniendo en cuenta que la eficiencia de aplicación para un sistema de riego por goteo según la FAO es 90% (véase Sección 2.4.3.1). Así:

$$N_b = 100 \times N_n / E_a = 100 \times (2,66 \text{ [mm/d]}) / (90 \text{ [%]})$$

$$N_b = 2,957 \text{ [mm/d]}$$

**3.2.2.3 Dosis neta de riego ( $D_n$ ).** La determinación de la dosis neta de riego del cultivo se realiza llevando a cabo los siguientes pasos:

**Paso 1: Cálculo del Agua utilizable por el cultivo (AU).** Debido a que es un valor que depende principalmente de la textura del suelo, la recomendación es realizar un estudio de suelos al terreno real enfocado a las propiedades físicas requeridas en el cálculo del Agua utilizable por el cultivo. Sin embargo, debido a la falta de recursos, se decide emplear valores de referencia tabulados por Mihajlovich en 1979 y citados por la FAO<sup>92</sup> para el tipo de suelo correspondiente al área de trabajo del cultivo. Los valores de referencia se presentan en la Tabla 21.

---

<sup>92</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 58. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

Tabla 22. Resumen de las propiedades físicas de los suelos

Textura del Suelo	Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ]	Capacidad de campo [%θ <sub>g</sub> ]	Punto de marchitez permanente [%θ <sub>g</sub> ]	Infiltración básica [mm/h]
Arenoso	1,65 (1,55-1,90)	9 (6-12)	4 (2-6)	50 (25-250)
Franco - arenoso	1,5 (1,40-1,60)	14 (10-18)	6 (4-8)	25 (13-75)
Franco	1,40 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	13 (8-20)
Franco - arcilloso	1,35 (1,30-1,40)	27 (23-31)	13 (11-15)	8 (2,5-15)
Arcilloso	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	5 (1,3-10)

Fuente: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 58. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

La profundidad radicular efectiva del árbol de guanábana es otro dato indispensable en el cálculo del Agua utilizable por el cultivo. El valor tomado es de 0,8 [m] y corresponde a una aproximación hecha a la medición en campo. Éste se corrobora con valores referenciales de aproximadamente 100 [cm] para otros árboles frutales expuestos por la FAO<sup>93</sup>.

El cálculo del Agua utilizable por el cultivo se realiza a partir de la Ecuación 2.7 (véase Sección 2.4.4.2) teniendo en cuenta que el tipo de terreno del cultivo de guanábana es franco - arenoso.

$$AU = 10 \times (CC - PMP) \times d_a \times P_r = 10 \times (14[\% \theta_g] - 6[\% \theta_g]) \times 1,5 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \times 0,8[m]$$

$$AU = 96 [mm]$$

<sup>93</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 59. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

**Paso 2: Cálculo de la Dosis neta de riego ( $D_n$ ).** Con el valor del agua utilizable por el cultivo y el déficit permisible de manejo, la dosis neta de riego se determina con la Ecuación 2.6 (véase Sección 2.4.4). Aunque existen tablas con valor de déficit permisible de manejo ( $DPM$ ) para un gran número de cultivos, no fue posible encontrar una correspondiente a la guanábana. Debido a esto, se decide trabajar con un valor de referencia suministrado por la FAO<sup>94</sup> que se ajusta a las características del cultivo de guanábana. Se considera que para cultivos menos tolerantes a la sequía o de mayor valor económico (caso de la guanábana)  $DPM = 30$  [%].

$$D_n = DPM \times AU/100 = 30[\%] \times 96 [mm]/100$$

$$D_n = 28,8 [mm]$$

**3.2.2.4 Dosis bruta de riego ( $D_b$ ).** El cálculo de la dosis bruta de riego se realiza mediante los siguientes pasos:

**Paso 1: Cálculo del Intervalo entre riegos ( $I$ ) y el Intervalo entre riegos aproximado ( $I_{aprox}$ ).**

El intervalo entre riegos se determina a partir de la Ecuación 2.10 (véase Sección 2.4.5.1), así:

$$I = D_n/N_n = 28,8 [mm]/2,66 [mm/d] \Rightarrow I = 10,83 [días]$$

Debe hacerse la aclaración que el valor obtenido es un intervalo máximo por razones agronómicas, que puede ser menor si se estima conveniente. Actualmente, en la Finca Villa María los agricultores riegan manualmente cada aproximadamente 4 [días]; es decir, dos veces por semana. Resulta lógico entonces modificar el valor del intervalo entre riegos con el objetivo de evitar demasiado estrés hídrico en la planta y ajustar mejor los turnos de regadío:

$$I_{aprox} = 8 [días]$$

**Paso 2: Cálculo de la Dosis neta de riego ajustada ( $Dn_{aj}$ ).** Se calcula mediante la Ecuación 2.9 (véase Sección 2.4.5.1).

---

<sup>94</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego. [En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 60. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

$$D_n a_j = I_{aprox} \times N_n = 8 \text{ [días]} \times 2,66 \text{ [mm/d]}$$

$$D_n a_j = 21,28 \text{ [mm]}$$

**Paso 3: Cálculo de la Dosis bruta de riego ( $D_b$ ).** Con los valores de la dosis neta ajustada y la eficiencia de aplicación para un cultivo de riego por goteo (véase Sección 2.4.3.1) se determina la dosis bruta de riego a partir de la Ecuación 2.8 (véase Sección 2.4.5).

$$D_b = 100 \times D_n a_j / E_a = 100 \times 21,28 \text{ [mm]} / 90 \text{ [%]}$$

$$D_b = 23,64 \text{ [mm]}$$

**3.2.2.5 Número de emisores por planta ( $n_e$ ).** El cálculo del número mínimo de emisores (goteros) por planta se realiza mediante los siguientes pasos:

**Paso 1: Cálculo de la Superficie ocupada por planta ( $Superf_{ocupadaxplanta}$ ).** El diámetro de las raíces en el marco de plantación respecto del tallo del árbol se determina a partir de la medición en campo y se aproxima a tres metros. Teniendo en cuenta un marco de plantación circular, la superficie ocupada por planta se calcula mediante la Ecuación 2.13 (véase Sección 2.4.6.1).

$$Superf_{ocupadaxplanta} = (\pi/4) \times D_{planta}^2 = (\pi/4) \times (3 \text{ [m]})^2$$

$$Superf_{ocupadaxplanta} = 7,069 \text{ [m}^2\text{]}$$

**Paso 2: Cálculo de la Superficie mojada por planta ( $Superf_{mojadaxplanta}$ ).** La determinación de la superficie mojada por planta se realiza a partir de la Ecuación 2.12 (véase Sección 2.4.6.1). Depende principalmente del porcentaje de suelo mojado y la superficie ocupada por planta. El porcentaje de suelo mojado es indispensable en el mantenimiento de la reserva de agua de la planta durante su desarrollo y ante cualquier ausencia de riego. Se trabaja con un porcentaje de suelo mojado del 33 [%] según la recomendación de la Universitat Jaume I para cultivos leñosos.

$$Superf_{mojadaxplanta} = \frac{P \times Superf_{ocupadaxplanta}}{100} = \frac{33 \text{ [%]} \times 7,069 \text{ [m}^2\text{]}}{100}$$

$$Superf_{mojadaxplanta} = 2,333 \text{ [m}^2\text{]}$$

**Paso 3: Cálculo del Diámetro mojado del bulbo húmedo ( $Dm_{bulbo}$ ).** Teniendo en cuenta las características del suelo en la zona del cultivo de guanábana (véase Sección 2.2.3) y a partir de las expresiones descritas en la Sección 2.4.6.2, se decide trabajar con la ecuación para un suelo de textura media (franco) en el cálculo del diámetro mojado del bulbo húmedo, debido a que el tipo de suelo franco es el que predomina en el lugar.

$$Dm_{bulbo} = 0,6 + 0,1 \times Q_{emisor} = 0,6 + 0,1 \times (4 [L/h])$$

$$Dm_{bulbo} = 1 [m]$$

Es importante recalcar que se usa un valor de caudal del emisor de 4 [L/h] ya que es el más comúnmente empleado en aplicaciones de riego por goteo.

**Paso 4: Cálculo de la Superficie mojada por emisor ( $Superf_{mojadaxemisor}$ ).** Se calcula mediante la Ecuación 2.14 (véase Sección 2.4.6.2), así:

$$Superf_{mojadaxemisor} = (\pi/4) \times Dm_{bulbo}^2 = (\pi/4) \times (1 [m])^2$$

$$Superf_{mojadaxemisor} = 0,785 [m^2]$$

**Paso 5: Cálculo del número de emisores por planta ( $n_e$ ).** Con los valores de la superficie mojada por planta y por emisor, la determinación del número mínimo de emisores se realiza a partir de la Ecuación 2.11 (véase Sección 2.4.6).

$$n_e = \frac{Superf_{mojadaxplanta}}{Superf_{mojadaxemisor}} = \frac{2,333 [m^2]}{0,785 [m^2]} = 2,97 [goteros]$$

Debido a que este es un valor mínimo de goteros por razones agronómicas, se decide aumentar el número para garantizar el crecimiento de las raíces en por lo menos cuatro direcciones, y evitar así la probabilidad de que los árboles sean abatidos por fuertes corrientes de aire.

$$n_e = 4 [goteros]$$

**3.2.2.6 Tiempo de aplicación ( $t_a$ ).** El tiempo de aplicación depende principalmente de la dosis bruta de riego, el número de emisores y el caudal de éstos. Según lo calculado anteriormente, el número de emisores es cuatro, por lo que la determinación del tiempo mínimo de aplicación se realiza mediante la Ecuación 2.15 (véase Sección 2.4.7).

$$t_a = \frac{D_b \times Superf_{mojada\ x\ planta}}{n_e \times \dot{Q}_{emisor}} = \frac{23,64 [L/m^2] \times 2,333 [m^2]}{4 [goteros] \times 4 [L/h]}$$

$$t_a = 3,451 [h]$$

Note que la dosis bruta de riego se da en  $[L/m^2]$  que es equivalente a  $[mm]$  (véase Sección 2.4.1).

**3.2.2.7 Disposición de los emisores.** A partir de las recomendaciones según Fuentes, J. y García, G. para la disposición de los emisores en cultivos arbóreos y frutales (características del cultivo de guanábana), se resume:

- Número de emisores:  $n_e = 4$  [goteros].
- Criterio a aplicar: Formar una serie de puntos húmedos alrededor de cada guanábano para garantizar que las raíces se desarrollen en varias direcciones y los árboles no corran el riesgo de ser abatidos por las fuertes corrientes de aire.
- Solape: Es necesario para asegurar que las raíces no encuentren barreras de sales entre los bulbos húmedos de cada emisor. El valor de solape recomendado seleccionado para el cálculo busca el correcto funcionamiento del sistema:  $S = 30$  [%]

Finalmente, la distancia óptima entre emisores se determina a partir de la Ecuación 2.16 (véase Sección 2.4.8).

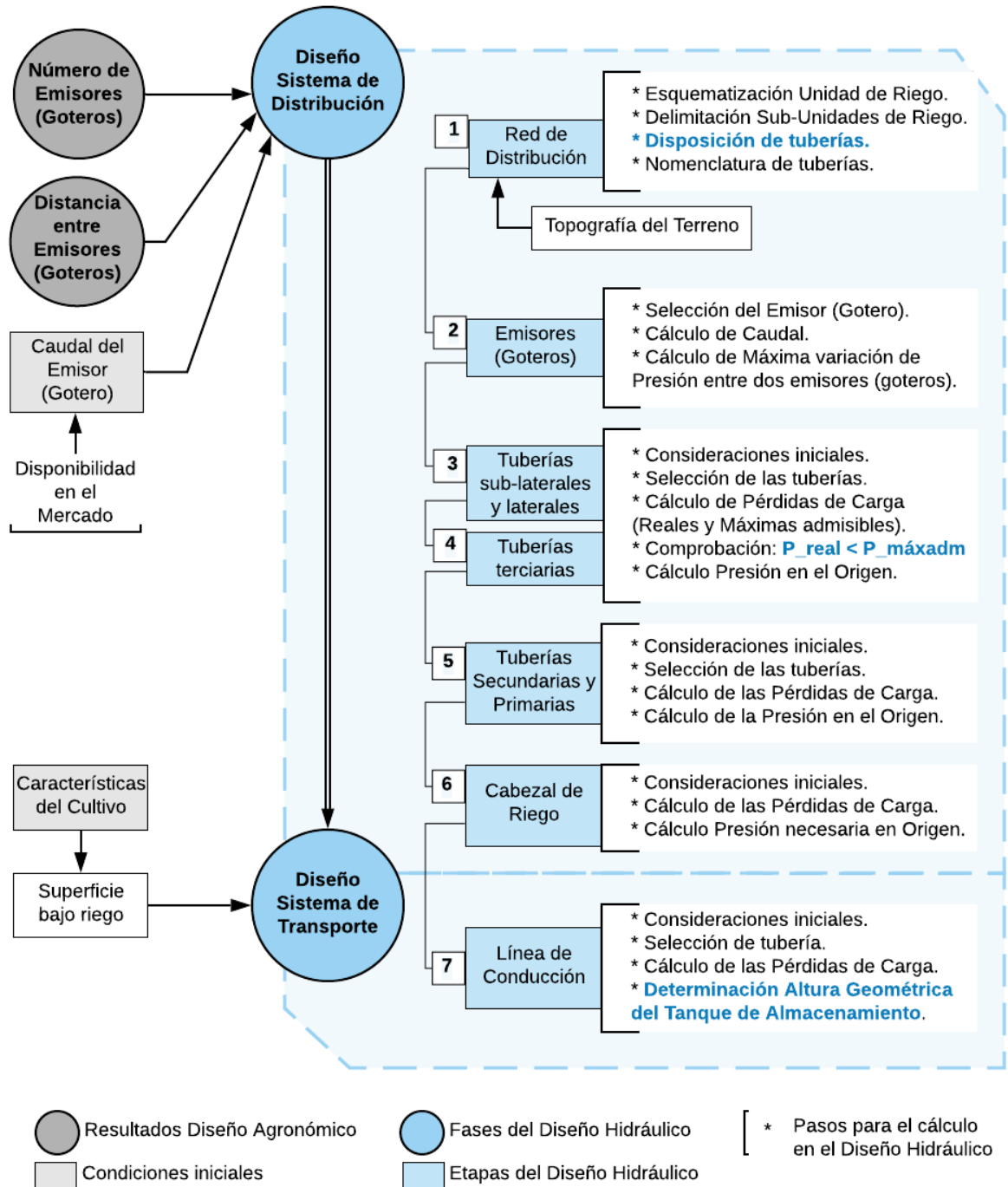
$$Dist_{emisores} = Rm_{bulbo} \times \left(2 - \frac{S}{100}\right) = 0,5 [m] \times \left(2 - \frac{30 [ \% ]}{100}\right) = 0,85 [m]$$

$$Dist_{emisores} \approx 1 [m]$$

**3.2.3 Diseño hidráulico del sistema de riego.** El proceso de diseño hidráulico del sistema de riego se divide en dos fases: diseño del sistema de distribución y diseño del sistema de transporte. Cada fase comprende determinadas etapas que se desarrollan mediante pasos, buscando definir

completamente los principales componentes del sistema. La Figura 18 esquematiza este proceso dividido en fases, etapas y pasos.

Figura 18. Diseño hidráulico del sistema de riego



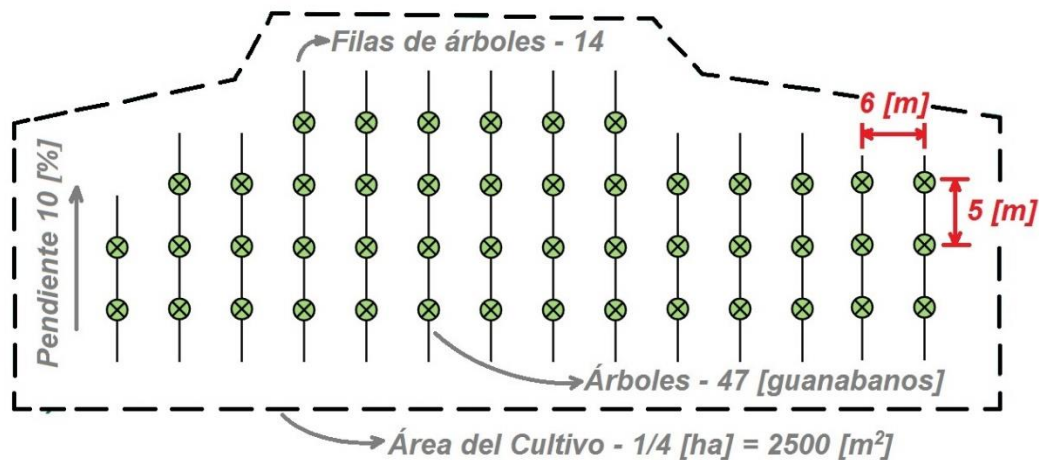
### 3.2.3.1 Diseño de la red de distribución.

La red de distribución es el punto clave en el proceso de diseño del sistema de riego por goteo. A partir de la identificación y especificación del área, número y disposición de plantas en el cultivo; y también, teniendo en cuenta los resultados obtenidos del diseño agronómico, se resumen las consideraciones para tener en cuenta:

- Área del cultivo:  $1/4 \text{ [ha]} = 2500 \text{ [m}^2\text{]}$ .
- Número de árboles a irrigar: 47 [guanábanos].
- Distancia entre filas de árboles: 6 [m].
- Número de emisores por planta: 4 [goteros].
- Pendiente del terreno: 10%
- Filas de árboles: 14.
- Distancia entre árboles: 5 [m].

La Figura 19 muestra un esquema representativo del área de cultivo y el posicionamiento de los árboles de guanábana en éste.

Figura 19. Esquema representativo del área de cultivo

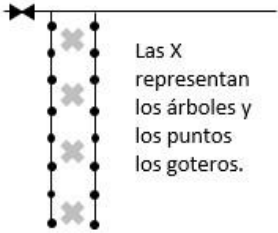
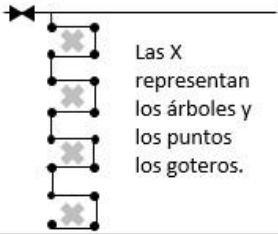
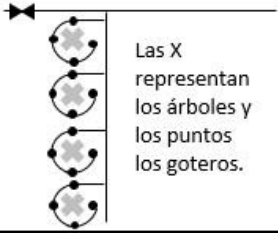


#### --- Disposición de goteros.

Como se ha mencionado anteriormente (véase Sección 2.5.2.7) existen diferentes disposiciones de goteros en las tuberías laterales. Garantizar que a cada árbol de guanábana le sea suministrada la dosis bruta necesaria para su correcto desarrollo es el principal objetivo del sistema de riego; debido a esto, la red de distribución debe diseñarse de la mejor forma posible, cumpliendo con los requerimientos establecidos y facilitando la viabilidad económica del proyecto.

En la Tabla 22 se muestra una comparación entre los tres tipos de disposición de laterales más empleados en los sistemas de riego por goteo. Se muestra la cantidad de tubería en metros por cada fila de árbol [m] y la longitud total de tubería [m] para cada disposición.

Tabla 23. Recursos necesarios según la disposición de laterales

Disposición de Goteros	Esquema	Longitud de tubería por fila		Longitud total de tubería
		Tuberías laterales	Tuberías sub-laterales	
<b>Doble lateral</b>	 <p>Las X representan los árboles y los puntos los goteros.</p>	2 árbol/fila: 6,65 [m] 3 árbol/fila: 11,65 [m] 4 árbol/fila: 16,65 [m]	No aplica	Tuberías laterales: 376,2 [m] Tuberías sublaterales: No aplica - <b>Total: 376,2 [m]</b>
<b>Zigzag</b>	 <p>Las X representan los árboles y los puntos los goteros.</p>	2 árbol/fila: 10,65 [m] 3 árbol/fila: 17,65 [m] 4 árbol/fila: 24,65 [m]	No aplica	Tuberías laterales: 282,1 [m] Tuberías sublaterales: No aplica - <b>Total: 282,1 [m]</b>
<b>Anillos</b>	 <p>Las X representan los árboles y los puntos los goteros.</p>	2 árbol/fila: 5,7 [m] 3 árbol/fila: 10,7 [m] 4 árbol/fila: 15,7 [m]	Para cada árbol: 3,65 [m]	Tuberías laterales: 171,6 [m] Tuberías sublaterales: 174,8 [m] - <b>Total: 346,4 [m]</b>

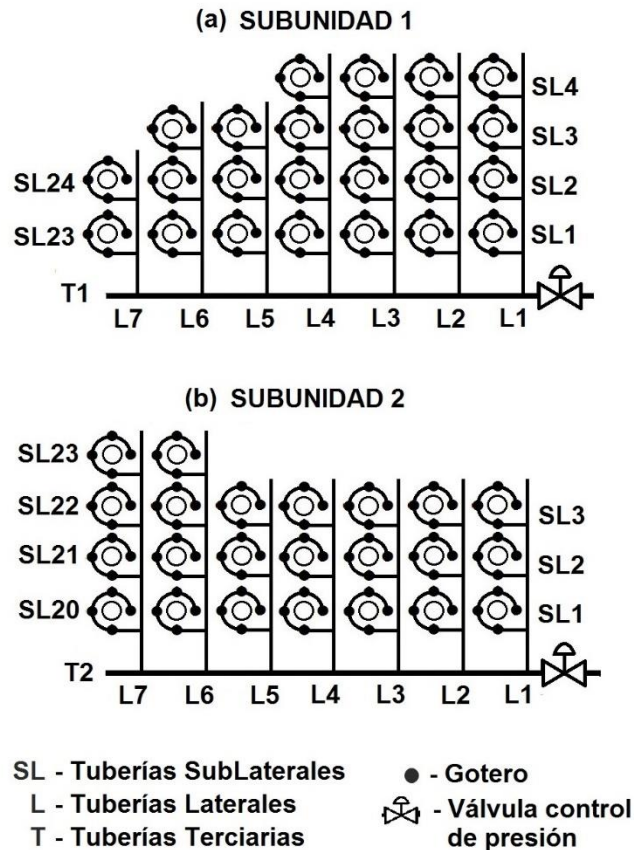
Para asegurar y garantizar la viabilidad económica del sistema de riego por goteo, se propone diseñar y calcular para los goteros en disposición de anillos. Se descarta la disposición de zigzag debido a la sugerencia del usuario de individualizar cada árbol en caso de ser necesario pausar el riego en puntos específicos.

Durante el desarrollo de los cálculos tipo mostrados en este capítulo se pretende usar únicamente la disposición de anillos; y, más adelante en el *Capítulo 4. Desarrollo de aplicación, modelamiento 3D CAD y simulación* se llevará a cabo la creación de una interfaz articulada entre los software Engineering Equation Solver EES y Microsoft Excel, que va a permitir calcular cualquiera de las tres disposiciones (doble lateral, zigzag y anillos) y comparar los resultados hidráulicos obtenidos en cada una.

--- **División del área de cultivo (Unidad de riego).** Se decide dividir el área de cultivo en dos subunidades de riego, debido a la extensión del terreno y la necesidad de mantener un control más eficiente sobre éste. La Figura 20 muestra la disposición y nomenclatura

usada para las tuberías sub-laterales (porta goteros), laterales y terciarias en cada subunidad.

Figura 20. Disposición y nomenclatura de las tuberías sub-laterales, laterales y terciarias en (a) Subunidad 1 y (b) Subunidad 2



En las secciones siguientes, se muestra de manera conjunta los resultados obtenidos para cada una de las dos subunidades.

**3.2.3.2 Gotero.** Se va a trabajar todo el sistema de riego con una única referencia de gotero, para garantizar un coste rentable de la instalación y evitar particularizar cada una de las líneas (situación que generaría inconvenientes en futuros trabajos/gestión de mantenimiento). Debido a que el gotero será el mismo en las dos subunidades, no es necesario realizar una diferenciación en los cálculos.

**Paso 1: Selección del gotero.** En la actualidad, *Netafim<sup>TM</sup>* es una de las empresas mejor posicionadas a nivel nacional y mundial, con presencia en 110 países, han regado más de diez millones de hectáreas de tierra cultivable y producido más de 150 millones de goteros<sup>95</sup>. Es así, como después de analizar todas las ofertas de goteros fabricados por *Netafim<sup>TM</sup>* se decide trabajar con un gotero característico en el riego de cultivos de árboles frutales, con amplias expectativas en cuanto a vida útil y rendimiento óptimo, cuya información técnica se encuentra en uno de los catálogos<sup>96</sup> disponibles en la página web de la compañía. Se resume:

- Referencia técnica: *PCJ Netafim<sup>TM</sup> dripper*.
- Aplicaciones: Para riego de árboles y cultivos en hileras en superficie.
- Características y beneficios: Amplia área de filtración garantiza rendimientos óptimos incluso en condiciones de agua dura. El laberinto *TurboNet<sup>TM</sup>* asegura una sección transversal ancha y profunda resistente a las obstrucciones. El ingreso del agua se realiza desde el centro del flujo evitando la entrada de sedimentos en el gotero. Los goteros pueden insertarse exactamente donde se necesitan.
- Especificaciones: Dispuestos para ser "soldados" en líneas de goteo de paredes gruesas (0.9, 1.0 y 1.2 mm). Alta resistencia a los rayos UV. Tiempo de vida útil estimado en diez años. Cumple con los estándares ISO 9261.

Como se ha propuesto en el diseño agronómico, se decide trabajar con un gotero de caudal nominal 4 [L/h]. El gotero seleccionado PCJ posee esta configuración de caudal. Información más detallada del gotero en *Anexo B. Gotero PCJ - Extracto catálogo Netafim<sup>TM</sup>*.

**Paso 2: Cálculo del caudal ( $\dot{Q}_{gotero}$ ).** A partir de la Ecuación 2.18 (véase Sección 2.5.1.1) para la descarga de un gotero y los datos técnicos suministrados por *Netafim<sup>TM</sup>* del gotero *Aries<sup>TM</sup> HWD*, se determina:

$$\dot{Q}_{gotero} = K \times (P_{gotero})^X = 4,0 \times (10 [mca])^{0,0001}$$

$$\dot{Q}_{gotero} = 4 [L/h] = 0,000001111 [m^3/s]$$

<sup>95</sup> NETAFIM. Acerca de Nosotros. [En línea]. (Recuperado en 20 enero 2020). Disponible en: [https://www.netafim.com/en/Netafim-irrigation-company\\_about-us/](https://www.netafim.com/en/Netafim-irrigation-company_about-us/)

<sup>96</sup> NETAFIM. Líneas de goteo y goteros. [En línea]. (Recuperado en 13 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.netafim.com/en/products-and-solutions/product-offering/drip-irrigation-products/>

**Paso 3: Cálculo de la máxima variación de la presión entre dos emisores ( $\Delta P_{\text{gotero}}$ ).** Se calcula con la Ecuación 2.19 (véase Sección 2.5.1.2).

$$\Delta P_{\text{gotero}} = \frac{0,1}{X} \times P_{\text{gotero}} = \frac{0,1}{0,0001} \times 10 \text{ [mca]} \Rightarrow \Delta P_{\text{gotero}} = 10000 \text{ [mca]}$$

Como se observa, la selección de un gotero auto compensante permite niveles altos de variación de presión entre goteros, garantizando el correcto funcionamiento del sistema y minimizando las posibles situaciones adversas.

### **3.2.3.3 Tuberías sub laterales (porta-goteros) y laterales (porta-sub laterales).**

**Paso 1: Consideraciones iniciales.** Como se observa en la Figura 20, la disposición en anillos requiere la utilización de dos tipos de tuberías laterales. La primera corresponde a las denominadas tuberías sub-laterales que son las líneas donde se encuentran los goteros; y la segunda, hace referencia a las tuberías laterales encargadas de alimentar las sub laterales. Los correspondientes análisis hidráulicos requeridos para el cálculo de las tuberías sub laterales y laterales son prácticamente idénticos, ya que ambas son líneas con consumos intermedios equidistantes y se rigen por los mismos criterios (hidráulicos y económicos) expuestos en la Sección 2.5.2.

**Paso 2: Selección de las tuberías.** Los goteros PCJ están para insertarse en tuberías de paredes gruesas (0.9, 1.0 y 1.2 [mm]). Netafim™ dispone de una amplia gama de ofertas en tuberías para la realización de este tipo de montajes. A partir del catálogo<sup>97</sup> se determina que la opción idónea para las tuberías en el sistema de riego son las líneas Netafim™ PE estándar, gracias a la disponibilidad para ser usadas en sistemas de riego agrícolas, redes de suministro de agua a rociadores y soportes, montaje en juegos de goteros, entre otros. En la Tabla 23 se resumen las especificaciones técnicas principales de la tubería Netafim™ PE estándar para el riego de cultivos.

---

<sup>97</sup> NETAFIM. Tubería flexible para riego de precisión. [En línea]. (Recuperado en 13 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.netafim.com/en/products-and-solutions/product-offering/flexible-and-pe-pipes/>

Tabla 24. Datos técnicos de las tuberías Netafim™ PE estándar.

Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Diámetro exterior (nominal) [mm]	Diámetro nominal [pulgadas]
16/4	14,0	1,0	16	5/8"
20/4	17,6	1,2	20	3/4"
25/4	22,0	1,5	25	1"
32/4	29,4	1,3	32	1-1/4"
32/4 SOFT	27,2	2,4		
40/4	36,8	1,6	40	1-1/2"
40/4 SOFT	34,0	3,0		
40/5	36,2	1,9		
50/4	46,0	2,0	50	2"
50/5	45,2	2,4		
63/4	58,0	2,5	63	2-1/2"
63/6	57,0	3,0		

Fuente: NETAFIM. Pipes. Product catalog, vol. 3, 2019. P. 5.

La determinación del diámetro óptimo para las tuberías sub laterales y laterales es un proceso iterativo. Teniendo en cuenta que los goteros PCJ se deben insertar en tuberías de pared gruesa de 0.9, 1.0 o 1.2 [mm], se va a trabajar con la tubería modelo 16/4 ( $D_i = 0,014 [m]$  y  $\varepsilon = 0,001 [m]$ ) para todas las líneas; y, más adelante, mediante la comparación de las pérdidas de carga reales obtenidas con ese diámetro de tubería respecto a las pérdidas de carga máximas permitidas (admisibles), se determinará si el diámetro es el indicado o debe modificarse.

Como se ha mencionado anteriormente, en el *Capítulo 4. Desarrollo de aplicación, modelamiento 3D CAD y simulación* se va a desarrollar una interfaz en Microsoft Excel enlazando las líneas de código usadas en el cálculo del sistema de riego (a partir del software Engineering Equation Solver EES) para permitir la variación del modelo de tuberías presente en el sistema de riego, y realizar las respectivas comparaciones que determinen la mejor opción de diámetro.

**Paso 3: Cálculo de las pérdidas de carga en tuberías sub laterales y laterales.** La determinación de las pérdidas de carga se realiza a partir de los valores del coeficiente de Christiansen y la pérdida de carga unitaria en la línea, mediante la Ecuación 2.22 (véase Sección 2.5.2.2). El cálculo del coeficiente de Christiansen y la pérdida de carga unitaria en las tuberías sub

laterales y laterales se presenta en el *Anexo C. Cálculo del coeficiente de Christiansen* y *Anexo D. Cálculo de la pérdida de carga por fricción en tuberías*, respectivamente.

Es importante recalcar que la Ecuación 2.22 expresa la pérdida de carga para una sola línea, por lo que es necesario multiplicar la cantidad de líneas presentes en cada fila de plantas para el caso de los sub laterales. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 24 y Tabla 25.

Tabla 25. Coeficiente de Christiansen y Pérdida de carga por fricción en tuberías sub laterales y laterales, modelo 16/4, para Subunidad 1 y 2.

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Coeficiente de Christiansen	Pérdida de carga por fricción [mca]
1	Sub laterales	1, ..., 24	16/4	14,0	1,0	0,4977	0,001567
		1, 2, 3, 4				0,4977	0,02696
	Laterales	5, 6	16/4	14,0	1,0	0,5463	0,01378
		7				0,6497	0,00490
2	Sub laterales	1, ..., 23	16/4	14,0	1,0	0,4977	0,001567
	Laterales	1, 2, 3, 4, 5	16/4	14,0	1,0	0,5463	0,01378
		6, 7				0,4977	0,02696

Tabla 26. Pérdidas de carga totales en tuberías sub laterales y laterales, modelo 16/4, para Subunidad 1 y 2

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Pérdida de carga en cada línea [mca]	Pérdida de carga total [mca]
1	Sub laterales	1, ..., 24	16/4	14,0	1,0	0,000780	0,01872
		1, 2, 3, 4				0,013418	
	Laterales	5, 6	16/4	14,0	1,0	0,007528	0,07191
		7				0,003180	
2	Sub laterales	1, ..., 23	16/4	14,0	1,0	0,000780	0,01794
	Laterales	1, 2, 3, 4, 5	16/4	14,0	1,0	0,007528	0,06448
		6, 7				0,013418	

**Paso 4: Cálculo de las pérdidas de carga admisibles en tuberías sub laterales y laterales.**

A partir de la aplicación del criterio económico es posible determinar el valor de las pérdidas de carga máximas permitidas en el conjunto de tuberías sub laterales y laterales. Mediante la adaptación de la Ecuación 2.27 (véase Sección 2.5.2.5) se determinan estos valores admisibles de pérdidas para las tuberías sub laterales y laterales, así:

$$(h_{f.sublateral.admisible} + h_{f.lateral.admisible}) = \frac{0,055}{X} \times P_{gotero}$$

$$\Rightarrow h_{f.sublateral.admisible} = \frac{0,0275}{X} \times P_{gotero}$$

$$h_{f.lateral.admisible} = \frac{0,0275}{X} \times P_{gotero}$$

Tabla 27. Pérdidas de carga admisibles en tuberías sub laterales y laterales para Subunidad 1 y 2

Sub Unidad	Tubería	Pérdida de carga admisible [mca]
1 y 2	Sub laterales	2750
	Laterales	2750

**Paso 5: Comparación de las pérdidas de carga reales respecto a las máximas permitidas.**

El cumplimiento de cada uno de los criterios (tanto hidráulicos como económicos) aseguran el correcto funcionamiento de la instalación de riego. Debido a esto, debe garantizarse que las pérdidas de carga reales en las tuberías sub laterales y laterales se encuentren dentro del límite admisible, así:

$$h_{f.sublateral} \leq h_{f.sublateral.admisible}$$

$$h_{f.lateral} \leq h_{f.lateral.admisible}$$

La Tabla 27 muestra los valores calculados de las pérdidas de carga totales y admisibles en las tuberías sub laterales y laterales de cada subunidad. Los resultados obtenidos son favorables y debido a la característica auto compensante de los goteros las pérdidas admisibles proporcionan un margen de seguridad alto, asegurando que el diámetro de la tubería seleccionada para los sub laterales y laterales es funcional y no genera pérdidas de carga que puedan afectar la uniformidad en el sistema de riego.

Tabla 28. Comparación de pérdidas de carga reales y admisibles en tuberías sub laterales y laterales, modelo 16/4, para Subunidad 1 y 2

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Pérdida de carga total [mca]	Pérdida de carga admisible [mca]
1	Sub laterales	1, ..., 24	16/4	0,01872	2750
	Laterales	1, 2, 3, 4 5, 6 7	16/4	0,07191	2750
2	Sub laterales	1, ..., 23	16/4	0,01794	2750
	Laterales	1, 2, 3, 4, 5 6, 7	16/4	0,06448	2750

**Paso 6: Cálculo de la presión en el origen de las tuberías sub laterales y laterales.** Este cálculo se realiza mediante la Ecuación 2.28 (véase Sección 2.5.2.6). En la Tabla 28 se presentan los valores de la presión en el origen de cada grupo de sub laterales y laterales que hacen parte de las dos subunidades; también, se muestran los resultados obtenidos del desnivel geométrico entre los extremos del lateral, parámetro importante en el cálculo de esta presión. Es posible observar que el desnivel geométrico en las tuberías sub laterales es cero, ya que no se ven afectadas por la pendiente del terreno, que se encuentra en dirección de los laterales.

Tabla 29. Presión origen de tuberías sub laterales y laterales, modelo 16/4, para Subunidad 1 y 2

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Desnivel geométrico [m]	Longitud [m]	Pérdida de carga total [mca]	Presión en el origen [mca]
1	Sub laterales	1, ..., 24	16/4	0	3,65	0,01872	10
	Laterales	1, 2, 3, 4	16/4	4,71	15,70	0,07191	7,655
		5, 6		3,21	10,70		8,400
		7		1,71	5,70		9,147
2	Sub laterales	1, ..., 23	16/4	0	3,65	0,01794	10
	Laterales	1, 2, 3, 4, 5	16/4	3,21	10,70	0,06448	8,400
		6, 7		4,71	15,70		7,655

### 3.2.3.4 Tuberías terciarias (porta-laterales).

**Paso 1: Consideraciones iniciales.** Para las líneas terciarias se van a emplear las tuberías Netafim™ PE estándar según lo mencionado en la Sección 3.2.3.3 – paso 2 (véase Tabla 23).

**Paso 2: Selección de las tuberías.** Teniendo en cuenta que las tuberías terciarias son porta-laterales, se restringe el uso de los Modelos 16/4 y 20/4; y, se habilitan las alternativas siguientes: Modelo 25/4 en adelante. Cada una de estas opciones puede ser usada tanto en tuberías terciarias como secundarias y primarias. En este caso, sucede que la determinación del diámetro óptimo para las tuberías terciarias (secundarias y primarias también aplica) es un proceso iterativo, al igual que en las laterales. Debido a esto, probar con cada uno de los diámetros dentro de la oferta del fabricante, permite realizar una comparación y asegurar la selección del diámetro idóneo (en términos hidráulicos y económicos). Los cálculos mostrados en los pasos siguientes se realizan tomando como primera opción iterativa la tubería modelo 25/4 ( $D_{i.terc} = 0,022 [m]$  y  $\varepsilon = 0,0015 [m]$ ) para la línea terciaria presente en cada subunidad.

**Paso 3: Cálculo de las pérdidas de carga en tuberías terciarias ( $h_{f.terc}$ ).** Se realiza a partir de la Ecuación 2.30 (véase Sección 2.5.3.1). El cálculo del coeficiente de Christiansen y la pérdida de carga unitaria en la tubería terciaria se muestran en el *Anexo C. Cálculo del coeficiente de Christiansen* y *Anexo D. Cálculo de la pérdida de carga por fricción en tuberías*, respectivamente.

Tabla 30. Coeficiente de Christiansen y Pérdida de carga por fricción en tuberías terciarias, modelo 25/4, para Subunidad 1 y 2.

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Coeficiente de Christiansen	Pérdida de carga por fricción [mca]
1	Terciaria	1	25/4	22	1,5	0,438	0,5864
2	Terciaria	1	25/4	22	1,5	0,438	0,5396

Tabla 31. Pérdidas de carga totales en tuberías terciarias, modelo 25/4, para Subunidad 1 y 2

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Pérdida de carga total [mca]
1	Terciaria	1	25/4	22	1,5	0,2568
2	Terciaria	1	25/4	22	1,5	0,2363

**Paso 4: Cálculo de las pérdidas de carga admisibles en tuberías terciarias ( $h_{f.terc.admisible}$ ).**

El criterio económico mencionado anteriormente limita las pérdidas de carga en las tuberías terciarias y se aplica mediante la Ecuación 2.36 (véase Sección 2.5.3.4) con una leve modificación.

$$h_{f.terc.admisible} = \left(0,1/X \times P_{gotero}\right) - (h_{f.sublateral} + h_{f.lateral})$$

Tabla 32. Pérdidas de carga admisibles en tuberías terciarias para Subunidad 1 y 2

Sub Unidad	Tubería	Pérdida de carga admisible [mca]
1	Terciaria	10000
2	Terciaria	10000

**Paso 5: Comparación de las pérdidas de carga reales respecto a las máximas permitidas.**

Es importante garantizar el cumplimiento de los criterios hidráulico y económico en el diseño del sistema de riego por goteo para asegurar un funcionamiento óptimo. Se debe cumplir que:

$$h_{f.terc} \leq h_{f.terc.admisible}$$

Tabla 33. Comparación de pérdidas de carga reales y admisibles en tuberías terciarias, modelo 25/4, para Subunidad 1 y 2

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Pérdida de carga total [mca]	Pérdida de carga admisible [mca]
1	Terciaria	1	25/4	22	0,2568	10000
2	Terciaria	1	25/4	22	0,2363	10000

Los valores presentados permiten demostrar que el diámetro seleccionado para la primera iteración es funcional y no genera pérdidas en la tubería terciaria que exceden las máximas permitidas para el correcto funcionamiento del sistema de riego. Como se menciona con anterioridad, estos resultados favorables están soportados en la característica auto compensante del gotero PCJ.

**Paso 6: Cálculo de la presión en el origen de la tubería terciaria ( $P_{inicial_T}$ ).** El cálculo de la presión en el origen de la terciaria depende principalmente de las pérdidas de carga y el desnivel

geométrico entre los extremos de la tubería. La pendiente del terreno no afecta la terciaria de la subunidad 2; sin embargo, para la subunidad 1 se presenta cierto desnivel.

La presión en el origen de las tuberías terciarias de cada subunidad se calcula mediante la Ecuación 2.37 (véase Sección 2.5.3.5) y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34. Presión origen de tuberías terciarias, modelo 25/4, para Subunidad 1 y 2

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Desnivel geométrico [m]	Longitud [m]	Pérdida de carga total [mca]	Presión en el origen [mca]
1	Terciaria	1	25/4	3,67	36,7	0,2568	7,50
2	Terciaria	1	25/4	0	36,7	0,2363	8,57

### 3.2.3.5 Comprobaciones adicionales en las Subunidades de Riego.

#### Paso 1: Análisis de la suma de pérdidas de presión por rozamiento en las tuberías.

Según el criterio hidráulico expuesto en la Sección 2.5.1.2 en una instalación de riego por goteo se limita la máxima variación de caudal a un 10% por extensión en la subunidad de riego. Debido a esto, debe garantizarse que la suma de pérdidas de presión por rozamiento en las tuberías sub laterales, laterales y terciarias de cada subunidad no sobrepase este valor máximo permitido. En términos matemáticos, se debe cumplir que:

$$(\Delta H_u = h_{f,sublaterales} + h_{f,laterales} + h_{f,terciaria}) \leq (\Delta P_{gotero} = \frac{0,1}{X} \times P_{gotero})$$

$$\Delta H_u \leq \Delta P_{gotero}$$

Tabla 35. Comparación de sumas de pérdidas de presión por fricción y la máxima variación de la presión entre dos emisores, para Subunidad 1 y 2

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Pérdida de carga total [mca]	$\Delta H_u$ [mca]	$\Delta P_{gotero}$ [mca]
1	Sub laterales	1, ..., 24	16/4	14,0	0,01872	0,3475	10000
	Laterales	1, ..., 7	16/4	14,0	0,07191		
	Terciaria	1	25/4	22,0	0,2568		
2	Sub laterales	1, ..., 23	16/4	14,0	0,01794	0,3188	10000
	Laterales	1, ..., 7	16/4	14,0	0,06448		
	Terciaria	1	25/4	22,0	0,2363		

**Paso 2: Análisis de presiones en los goteros inicial y final.** Como se ha mencionado en repetidas ocasiones, se debe garantizar que la variación del caudal en la subunidad sea inferior al 10%. Para garantizar este valor, se calcula la variación del caudal a partir del siguiente análisis:

--- **Máxima diferencia de presiones entre goteros en la subunidad de riego.** En la subunidad de riego la máxima diferencia de presiones entre goteros está determinada por:

$$P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n} \leq \Delta H_u$$

Se debe tener en cuenta que la presión máxima corresponde al gotero más cercano a la válvula de control en el inicio de la tubería terciaria, y que generalmente se aproxima a la presión nominal de trabajo de 10 [mca]. Por otra parte, la presión mínima pertenece al gotero más alejado de la subunidad y debe determinarse mediante la expresión anterior.

Con los valores de presión definidos se procede a calcular el caudal máximo y mínimo a partir de la Ecuación 2.18 (véase Sección 2.5.1.1). Finalmente, con estos datos se halla la variación del caudal real en la subunidad en [%] mediante la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje, variación, caudal} = 100 - \left( \frac{100 \times Q_{m\acute{i}n}}{Q_{m\acute{a}x}} \right)$$

donde el caudal máximo del gotero corresponde a 4 [L/h] previamente esperado para una presión nominal de trabajo de 10 [mca].

Tabla 36. Porcentaje de variación de caudal para Subunidad 1 y 2

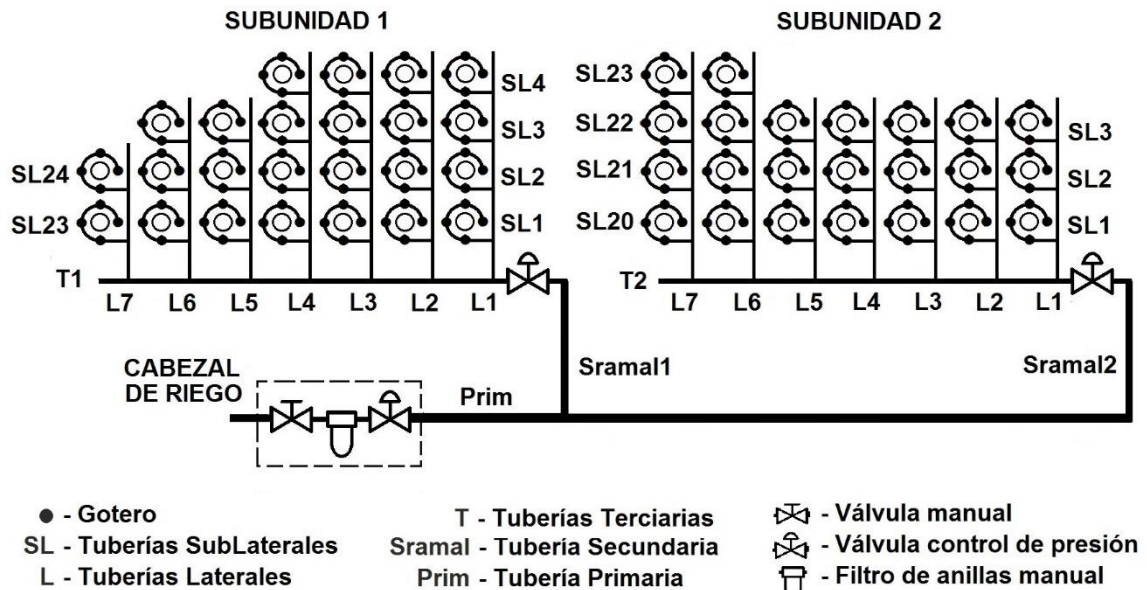
Sub Unidad	Presión mínima [mca]	Presión máxima [mca]	Caudal mínimo [L/h]	Caudal máximo [L/h]	Porcentaje variación de caudal [%]	Porcentaje variación de caudal máximo [%]
1	9,653	10	4	4	0,0003537	10
2	9,681	10	4	4	0,0003240	

### 3.2.3.6 Tuberías secundaria y primaria.

**Paso 1: Consideraciones iniciales.** El cálculo de las tuberías secundarias y primarias se lleva a cabo a partir de las mismas ecuaciones, por lo que se presentarán los resultados en

conjunto de ambas líneas. La Figura 21 muestra el punto desde el cual la tubería primaria alimenta la secundaria.

Figura 21. Disposición de las tuberías secundaria y primaria



**Paso 2: Selección de las tuberías.** Según lo mencionado en la Sección 3.2.3.4 - Paso 2, para las líneas primaria y secundaria también se pretende trabajar con las opciones de tubería Netafim™ PE (véase Tabla 23). Así mismo, ya que la determinación del diámetro indicado es un proceso iterativo y en el caso de estas líneas no se han establecido criterios que especifiquen un límite en las pérdidas de carga, se decide realizar los cálculos para cada uno de los diámetros de tubería disponibles. La determinación del diámetro idóneo dependerá de los valores obtenidos en las pérdidas de carga y la velocidad del agua en la tubería.

**Paso 3: Cálculo de las pérdidas de carga en tuberías secundaria y primaria ( $h_f$ ).** Se realiza a partir de la Ecuación 2.39 (véase Sección 2.5.4.1). El cálculo detallado de la pérdida de carga por fricción en la tubería secundaria y primaria se presenta en el Anexo D. *Cálculo de la pérdida de carga por fricción en tuberías*. Los resultados se resumen en la Tabla 37.

Tabla 37. Pérdidas de carga totales en tubería secundaria y primaria.

	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Pérdida de carga total [mca]
Unidad de Riego	Secundaria	Ramal 1	25/4	22,0	1,5	0,0160
			32/4	29,4	1,3	0,0032
			32/4 SOFT	27,2	2,4	0,0063
			40/4	36,8	1,6	0,0010
			40/4 SOFT	34,0	3,0	0,0020
			40/5	36,2	1,9	0,0012
		Ramal 2	25/4	22,0	1,5	0,6322
			32/4	29,4	1,3	0,1256
			32/4 SOFT	27,2	2,4	0,2495
			40/4	36,8	1,6	0,0403
			40/4 SOFT	34,0	3,0	0,0771
			40/5	36,2	1,9	0,0465
	Primaria	1	25/4	22,0	1,5	0,5496
			32/4	29,4	1,3	0,3078
			32/4 SOFT	27,2	2,4	0,3596
			40/4	36,8	1,6	0,1964
			40/4 SOFT	34,0	3,0	0,2301
			40/5	36,2	1,9	0,2030
		50/4	46,0	2,0	0,1257	
		50/5	45,2	2,4	0,1302	
		63/4	58,0	2,5	0,0791	
		63/6	57,0	3,0	0,0819	

**Paso 4: Cálculo de la presión en el origen de las tuberías secundaria y primaria (*Pinicial*).**

Debido a que las líneas secundaria y primaria se encuentran en una zona relativamente plana del área de cultivo, la presión generada por el desnivel geométrico no influye significativamente en los

resultados, así que no se tiene en cuenta. El cálculo de la presión inicial en las tuberías secundaria y primaria se realiza mediante la Ecuación 2.40 (véase Sección 2.5.4.2).

Tabla 38. Presión origen de tuberías secundaria y primaria.

	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Longitud [m]	Pérdida de carga total [mca]	Presión en el origen [mca]	Velocidad [m/s]	
Unidad de Riego	Secundaria	Ramal 2	25/4		0,6322	9,21	0,2690	
			32/4	Ramal1 =	0,1256	8,70	0,1506	
			32/4 SOFT	1	0,2495	8,82	0,1760	
			40/4	Ramal2 =	0,0403	8,61	0,0961	
			40/4 SOFT	43	0,0771	8,65	0,1126	
			40/5		0,0465	8,62	0,0993	
	Primaria	1	25/4			0,5496	9,25	0,5496
			32/4			0,3078	9,05	0,3078
			32/4 SOFT			0,3596	9,10	0,3596
			40/4			0,1964	9,02	0,1964
			40/4 SOFT	4		0,2301	9,04	0,2301
			40/5			0,2030	9,02	0,2030
			50/4			0,1257	9,01	0,1257
			50/5			0,1302	9,01	0,1302
			63/4			0,0791	9,01	0,0791
63/6			0,0819	9,01	0,0819			

Es importante aclarar que la tubería secundaria alimenta las dos líneas terciarias presentes en el sistema de riego; debido a esto, la presión inicial mayor entre estas dos tuberías terciarias será la empleada en el primer término de la Ecuación 2.40 para el cálculo de la presión inicial en la tubería secundaria. Es decir, los cálculos tienen en cuenta el ramal 2 de la tubería secundaria que necesita alimentar la subunidad 2 porque demanda mayor presión en el inicio de la línea terciaria, en comparación con la subunidad 1.

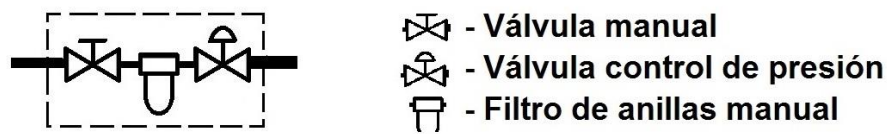
Como se sabe, debe garantizarse que el fluido llegue a la línea con la presión que necesita a la entrada, por lo que para la terciaria que demanda menor presión (terciaria de la subunidad 1), la válvula de control puede resolver el problema de exceso con facilidad.

Para la selección del diámetro idóneo en las líneas se analizan los valores de presión en el origen y velocidad del fluido, según lo mencionado en el Paso 2. Como se observa, los modelos de tubería que se mantienen cercanos a los rangos admisibles de velocidad establecidos para las líneas de conducción simples (véase Sección 2.5.6.1) son el 25/4 para ambas tuberías.

### 3.2.3.7 Cabezal de riego.

**Paso 1: Consideraciones iniciales.** Los componentes fundamentales en el cabezal de riego son: sistema de filtrado y aparatos de control. Se excluye el equipo de bombeo ya que el diseño establece un sistema de riego por gravedad; y a su vez, se prescinde de la unidad de fertilización, debido a las especificaciones realizadas por el propietario del cultivo. La Figura 22 muestra esquemáticamente los componentes del cabezal de riego.

Figura 22. Componentes del cabezal de riego



Para la unidad de filtrado, se selecciona el Filtro de anillos manual Netafim™ de referencia técnica *ARKAL 1 FILTER 120 MESH (SHORT) NPT*. Información general de los tipos de filtros más comunes en el mercado, factores relevantes y reglas prácticas para la selección, e información técnica extraída del catálogo de filtros de anillos manuales de Netafim se presenta detalladamente en el *Anexo E. Selección del sistema de filtrado*.

Por otra parte, en el caso de los aparatos de control, se tienen en cuenta la instalación de dos válvulas: una de control de presión a la salida del cabezal y una de control de caudal a la entrada.

**Paso 2: Cálculo de las pérdidas de carga en el cabezal.** Las pérdidas de carga en el cabezal de riego incluyen las pérdidas de presión debido a los elementos del cabezal y a los accesorios presentes en todo el sistema (hasta ahora no incluidos en los cálculos).

El cálculo de los valores de pérdidas de carga en los accesorios se presenta detalladamente en el *Anexo F. Cálculo de las pérdidas de carga localizadas*. Los resultados obtenidos se agrupan y presentan en la Tabla 39. Como se observa, las pérdidas de carga debido a los accesorios son mínimas en comparación a las originadas por los componentes del cabezal.

Tabla 39. Pérdidas de carga en el cabezal de riego

	Sistema	Descripción	Cantidad	Pérdida de carga particular [mca]	Pérdida de carga conjunto [mca]	Pérdida de carga total [mca]	
		<b>Componentes del cabezal</b>					
Unidad de Riego	Cabezal de Riego	Filtro de anillos manual	1	2		9,184	
		Válvula control caudal	1	2	9		
		Válvula control presión	1	5			
		<b>Accesorios presentes en el sistema</b>					
		Uniones - T. laterales	47	0,05801			
		Uniones - T. terciarias	14	0,017			
		Válvulas - T. Secundaria	2	0,08096	0,1839		
T - Tubería Primaria	1	0,02794					

La selección de las válvulas y los accesorios<sup>98</sup> se realiza teniendo en cuenta el diámetro y espesor de pared de las tuberías Netafim™ elegidas. Una lista detallada se muestra en la Sección 3.2.5.

### Paso 3: Cálculo de la presión necesaria en el origen del cabezal ( $P_{cabezal}$ ).

Tabla 40. Presión en el origen del cabezal de riego

	Sistema	Pérdida de carga total [mca]	Presión en el origen de la primaria [mca]	Presión en el origen [mca]
Unidad de Riego	Cabezal de Riego	9,184	9,245	18,43

#### 3.2.3.8 Línea de conducción (Tubería de transporte).

**Paso 1: Consideraciones iniciales.** Con los valores obtenidos en el cálculo de la presión en el origen del cabezal, se finaliza el diseño del sistema de distribución y se inicia el sistema de transporte. Éste se compone de la línea de conducción (tubería de transporte) y una válvula de

<sup>98</sup> NETAFIM. Connectors: product catalog. [En línea]. 2019.V1.0 (Recuperado en 1 de julio de 2020). Disponible en: <https://www.netafim.com/ru-ru/bynder/E339DA30-A6A5-4BA2-B7212E137F9DDDD73-global-connectors-catalog.pdf>

control de caudal al inicio del recorrido (para regular el flujo cuando el sistema no se encuentre en operación). En los cálculos presentados a continuación, se pretende determinar la altura mínima de funcionamiento, correspondiente a la suma de la altura a la que está posicionado el tanque del almacenamiento y la altura mínima de agua dentro de éste, para transferir suficiente energía al fluido y permitir que alimente el cabezal con el caudal solicitado a la presión requerida.

**Paso 2: Selección de las tuberías.** Para la tubería de transporte se pretende trabajar también con las opciones de Netafim™ presentadas en la Tabla 23 (véase Sección 3.2.3.3 - Paso 2). Como se ha mencionado, la determinación del diámetro idóneo es un proceso iterativo que en este caso depende de satisfacer los límites de velocidad establecidos (véase Sección 2.5.6.1).

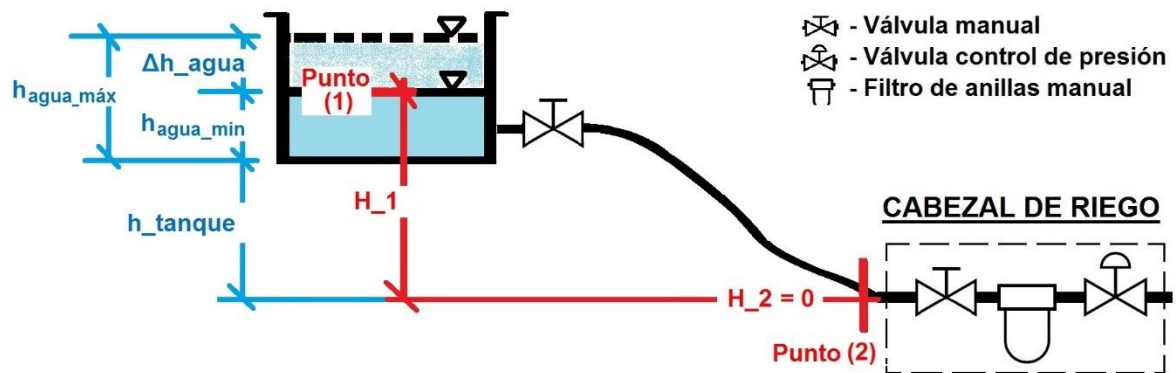
**Paso 3: Cálculo de las pérdidas de carga en la línea de conducción.** Las pérdidas de carga totales corresponden a la suma de las pérdidas de carga por fricción y por accesorios. El procedimiento en detalle para el cálculo se presenta en *Anexo D. Cálculo de la pérdida de carga por fricción en tuberías* y *Anexo F. Cálculo de las pérdidas de carga localizadas*, respectivamente. Teniendo en cuenta que el máximo consumo de agua requerido por el sistema de distribución no puede sobrepasar la máxima capacidad de transporte de la línea de conducción, en los cálculos de las pérdidas de carga por fricción, se decide igualar el caudal requerido al caudal transportado.

Tabla 41. Pérdidas de carga totales en la línea de conducción

	Tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Pérdida carga por fricción [mca]	Pérdidas de cargas localizadas [mca]	Pérdida de carga total [mca]
Unidad de Riego	Transporte	25/4	22,0	1,5	5,986	0,003105	5,99
		32/4	29,4	1,3	1,169	0,000974	1,17
		32/4 SOFT	27,2	2,4	2,368	0,001329	2,37
		40/4	36,8	1,6	0,382	0,000397	0,38
		40/4 SOFT	34,0	3,0	0,781	0,000544	0,78
		40/5	36,2	1,9	0,448	0,000424	0,45
		50/4	46,0	2,0	0,127	0,000162	0,13
		50/5	45,2	2,4	0,150	0,000174	0,15
		63/4	58,0	2,5	0,040	0,000064	0,04
63/6	57,0	3,0	0,048	0,000069	0,05		

**Paso 4: Determinación de la altura mínima de funcionamiento.** La Fig. 23 muestra un esquema del sistema de transporte. Como se puede observar, el Punto (1) está posicionado sobre la superficie del agua dentro del tanque de almacenamiento y el Punto (2) corresponde al cabezal de riego que se va a tomar como referencia para los cálculos. La cota altimétrica del Punto (1) es la altura mínima de funcionamiento  $H_1$  y representa la suma de: la altura a la que está posicionado el tanque del almacenamiento y la altura mínima de agua dentro de éste.

Figura 23. Esquema representativo sistema de distribución



Matemáticamente, la relación se expresa como:

$$H_1 = h_{\text{tanque}} + h_{\text{aguamínima}}$$

donde  $H_1$  es la altura mínima de funcionamiento,  $h_{\text{tanque}}$  es la altura a la que se encuentra posicionado el tanque de almacenamiento y  $h_{\text{aguamínima}}$  es la altura mínima del agua dentro del tanque de almacenamiento.

A medida que la altura del agua dentro del tanque de almacenamiento va descendiendo, el caudal que sale va a disminuir también. Debido a esto, se debe especificar esta altura mínima del agua dentro del tanque para asegurar el correcto funcionamiento del sistema en condiciones críticas: cuando ambas subunidades están siendo regadas al tiempo (máxima demanda de caudal).

La altura máxima del agua dentro del tanque de almacenamiento depende de dos factores: la capacidad del tanque y el número de riegos que se desee llevar a cabo con esa agua almacenada.

Conocidas las limitaciones de abastecimiento en el municipio de Lebrija, locación de la Finca Villa María, se recomienda almacenar la cantidad de agua suficiente para tres semanas de labores de

riego. Según lo especificado en el diseño agronómico, durante el turno de riego de 3,45 [horas] se va a suministrar aproximadamente 55,1 [L] de agua a cada árbol; es decir, para irrigar todo el sistema se requiere 2594,4 [L]. Los intervalos entre riegos son de 8 días, por lo que para tres semanas se necesitará una cantidad total de 7783,2 [L].

Revisando las ofertas disponibles de tanques de almacenamiento de agua en el mercado, y de acuerdo con la disponibilidad, se selecciona un tanque de almacenamiento Rotoplast de 10000 [L]. Este tanque cumple con la normativa colombiana NTC 4384 y es distribuido por Homecenter con una garantía de 50 años<sup>99</sup>. Las dimensiones del tanque son de 256 [cm] x 297 [cm].

Con esta información, es posible establecer la altura mínima y máxima del nivel de agua dentro de este tanque de almacenamiento para asegurar tres semanas de labores de riego:

$$h_{aguamínima} = \frac{Volumen}{Área_{base}} = \frac{2,5944 [m^3]}{(\pi \cdot 2,56 [m]^2 / 4)} = 0,5 [m] + 0,1[m] = 0,6 [m]$$

$$h_{aguamáxima} = \frac{Volumen}{Área_{base}} = \frac{7,7832 [m^3]}{(\pi \cdot 2,56 [m]^2 / 4)} = 1,51 [m] + 0,1[m] = 1,61 [m]$$

Los 0,1 metros adicionales en el cálculo de las alturas corresponden a los 10 cm medidos desde la base donde se va a ensamblar la válvula para la salida del agua en el tanque.

Con las alturas mínimas y máximas del agua dentro del tanque, puede hallarse la altura a la que deberá estar ubicado el tanque de almacenamiento a partir del cálculo de la altura mínima de funcionamiento H<sub>1</sub>.

La determinación de esta altura mínima de funcionamiento H<sub>1</sub> para transferir suficiente energía al fluido de forma que éste alcance la presión solicitada al inicio del cabezal de riego se lleva a cabo mediante la Ecuación 2.44 (véase Sección 2.5.6.2). Para garantizar esto, se iguala la presión en el Punto (2) con la presión al inicio del cabezal. Como se sabe, los dos primeros términos de la ecuación correspondientes a la presión y velocidad en el Punto (1) se cancelan; las pérdidas de carga totales se determinaron en el paso anterior; la velocidad en el punto (2) se halla a partir del caudal; la altura en el punto (2) es cero tomando este nivel más bajo del terreno como referencia. Por consiguiente, la única incógnita es la cota altimétrica del Punto (1) correspondiente a la altura mínima de funcionamiento H<sub>1</sub>.

---

<sup>99</sup> HOMECENTER. Rotoplast: tanque 10000 litros. [En línea]. (Recuperado en 1 de julio de 2020). Disponible en: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/204584/tanque-10000-litros>

Los resultados de la altura mínima de funcionamiento H<sub>1</sub> para cada diámetro de tubería Netafim™ disponible se presentan en la Tabla 42.

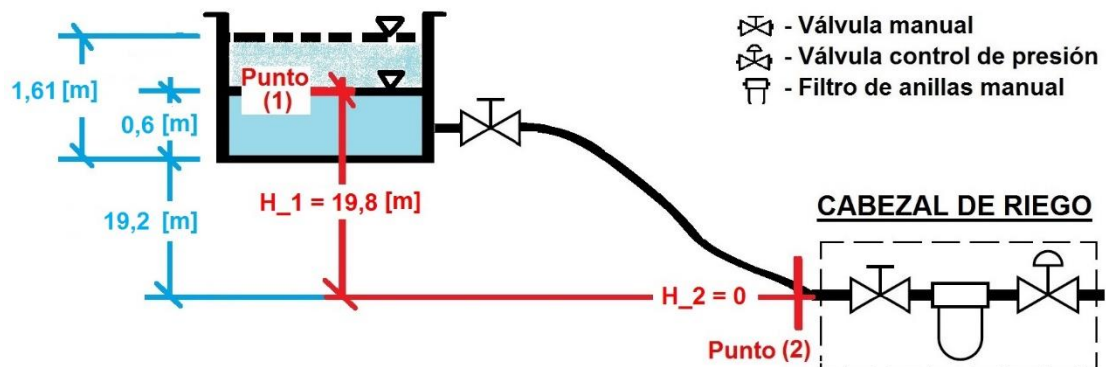
Tabla 42. Altura mínima de funcionamiento H<sub>1</sub>

	Tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Longitud [m]	Pérdida de carga total [mca]	Velocidad [m/s]	Altura mínima de funcionamiento H <sub>1</sub> [m]
Unidad de Riego	Transporte	25/4	22,0	100	5,99	0,55	24,63
		32/4	29,4		1,17	0,31	19,80
		32/4 SOFT	27,2		2,37	0,36	21,00
		40/4	36,8		0,38	0,20	19,01
		40/4 SOFT	34,0		0,78	0,23	19,41
		40/5	36,2		0,45	0,20	19,08
		50/4	46,0		0,13	0,13	18,76
		50/5	45,2		0,15	0,13	18,78
		63/4	58,0		0,04	0,08	18,67
63/6	57,0	0,05	0,08	18,68			

La mayoría de los diámetros tienen dificultades para asegurar que la velocidad del fluido en la línea se encuentre dentro de los rangos admisibles. Tomando este parámetro como referencia, para minimizar la altura mínima de funcionamiento se decide seleccionar el modelo 32/4 ( $D_i = 0,0294 [m]$  y  $\varepsilon = 0,0013 [m]$ ) para la tubería de transporte.

Con el valor de la altitud de elevación del Punto (1) se puede definir completamente el tanque de almacenamiento como se muestra en la Figura 24.

Figura 24. Altura mínima de funcionamiento H<sub>1</sub>



### 3.2.4 Síntesis de resultados. Para la disposición de anillos.

Tabla 43. Información general, síntesis de resultados agronómicos e hidráulicos

INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO			CONDICIONES CLIMÁTICAS SELECCIONADAS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO	
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	MES	AÑO PERIODO VEGETATIVO
Área del cultivo	1/4	[ha]	Enero	3: Maduración (Etapa de recolección)
Número de árboles a irrigar	47			
Distancia entre árboles	5	[m]		
Filas de árboles	14			
Distancia entre filas de árboles	6	[m]		
Pendiente del terreno	10	[%]	CONDICIÓN CRÍTICA	Sí

RESULTADOS DEL DISEÑO AGRONÓMICO						
VARIABLES				PARÁMETROS		
Necesidades netas de riego máximas	Nn	2,66	[mm/día]	Evapotranspiración del cultivo	ETc	3,72 [mm/día]
				Precipitación efectiva	Pe	1,05 [mm/día]
Necesidades brutas de riego	Nb	2,96	[mm/día]	Eficiencia de aplicación	Ea	90 [%]
Dosis neta de riego	Dn	28,80	[mm]	Agua utilizable por el cultivo	AU	96 [mm]
				Déficit permisible de manejo	DPM	30 [%]
Dosis bruta de riego	Db	23,64	[mm]	Dosis neta de riego ajustada	Dn.ajust	21,28 [mm]
Intervalo entre riegos aprox.	Iaprox	8	[días]	Intervalo entre riegos	I	10,83 [días]
Número de goteros por planta	ne	4	[goteros]	Superficie mojada por planta	Superf_mxp	2,33 [m²]
				Superficie mojada por gotero	Superf_mxg	0,79 [m²]
Tiempo de aplicación	ta	3,45	[horas]	Diámetro mojado del bulbo húmero	Dm_bulbo	1,00 [m]
Distancia entre goteros	Dist_goteros	0,85	[m]			

<b>EN RESUMEN:</b> Para cada árbol de guanábana	Dosis de riego	23,64 [mm] = 55,1 [L] = 15 [galones]
	Tiempo de aplicación	03:27:00 [horas:minutos:segundos]
	Intervalo entre riegos	8 [días]

Tabla 43. Información general, síntesis de resultados agronómicos e hidráulicos (Continuación)

<b>RESULTADOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO</b>						
<b>FASE 1 - SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</b>						
<b>ETAPA</b>	<b>DESARROLLO</b>					
<b>1</b>	<b>RED DE DISTRIBUCIÓN</b>	Disposición de goteros	Disposición de Anillos			
<b>2</b>	<b>GOTEROS</b>	Referencia técnica	PCJ - Netafim™	Caudal del gotero	4,0	[L/h]
		Cantidad total	188	Presión nominal	10	[mca]
<b>3</b>	<b>TUBERÍAS SUB-LATERALES</b>	Referencia técnica	Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	16	[mm]
				Espesor de pared	1,0	[mm]
		Número de tuberías	47	Longitud total	171,6	[m]
	<b>TUBERÍAS LATERALES</b>	Referencia técnica	Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	16	[mm]
				Espesor de pared	1,0	[mm]
		Número de tuberías	14	Longitud total	174,8	[m]
<b>4</b>	<b>TUBERÍAS TERCIARIAS</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25	[mm]
				Espesor de pared	1,5	[mm]
		Número de tuberías	2	Longitud total	73,4	[m]
<b>5</b>	<b>TUBERÍAS SECUNDARIAS</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25	[mm]
				Espesor de pared	1,5	[mm]
		Número de tuberías	2	Longitud total	44	[m]
	<b>TUBERÍA PRIMARIA</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25	[mm]
				Espesor de pared	1,5	[mm]
		Número de tuberías	1	Longitud total	4	[m]
<b>FASE 2 - SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</b>						
<b>ETAPA</b>	<b>DESARROLLO</b>					
<b>6</b>	<b>TUBERÍA DE TRANSPORTE</b>	Referencia técnica	Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	32	[mm]
				Espesor de pared	1,3	[mm]
		Número de tuberías	1	Longitud total	100	[m]

El informe esquemático de resultados hidráulicos se presenta en la Figura 25.

Figura 25. Informe esquemático de resultados hidráulicos

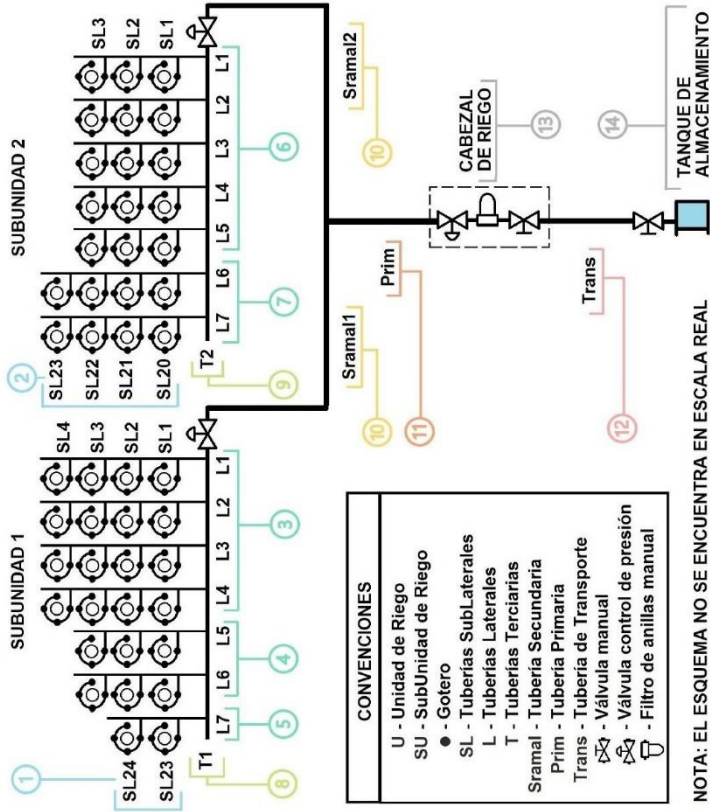
1		2	
SL1 a SL24		SU2	
Diámetro nominal	16 [mm]	Diámetro nominal	16 [mm]
Longitud	3,65 [m]	Longitud	3,65 [m]
Caudal	16 [L/h]	Caudal	16 [L/h]
Presión inicial	10 [mca]	Presión inicial	10 [mca]

3		4	
L1 a L4		SU1	
Diámetro nominal	16 [mm]	Diámetro nominal	16 [mm]
Longitud	15,7 [m]	Longitud	10,7 [m]
Caudal	64 [L/h]	Caudal	48 [L/h]
Presión inicial	7,65 [mca]	Presión inicial	8,4 [mca]

5		6	
L7		SU2	
Diámetro nominal	16 [mm]	Diámetro nominal	16 [mm]
Longitud	5,7 [m]	Longitud	10,7 [m]
Caudal	32 [L/h]	Caudal	48 [L/h]
Presión inicial	9,15 [mca]	Presión inicial	8,4 [mca]

7		8	
L6 y L7		SU1	
Diámetro nominal	16 [mm]	Diámetro nominal	25 [mm]
Longitud	15,7 [m]	Longitud	36,7 [m]
Caudal	64 [L/h]	Caudal	384 [L/h]
Presión inicial	7,65 [mca]	Presión inicial	7,4 [mca]

9		10	
T2		Sramal1 y Sramal2	
Diámetro nominal	25 [mm]	Diámetro nominal	25 [mm]
Longitud	36,7 [m]	Longitud ramal 1	1 [m]
Caudal	368 [L/h]	Longitud ramal 2	43 [m]
Presión inicial	8,57 [mca]	Caudal ramal 1	384 [L/h]
		Caudal ramal 2	368 [L/h]
		Presión inicial	9,21 [mca]



CONVENCIONES	
U	- Unidad de Riego
SU	- SubUnidad de Riego
●	- Gotero
SL	- Tuberías SubLaterales
L	- Tuberías Laterales
T	- Tuberías Terciarias
Sramal	- Tubería Secundaria
Prim	- Tubería Primaria
Trans	- Tubería de Transporte
⊗	- Válvula manual
⊗	- Válvula control de presión
⊗	- Filtro de anillas manual

NOTA: EL ESQUEMA NO SE ENCUENTRA EN ESCALA REAL

Trans		U	
Diámetro nominal	32 [mm]	Diámetro nominal	32 [mm]
Longitud	100 [m]	Longitud	100 [m]
Caudal	752 [L/h]	Caudal	752 [L/h]

Prim		U	
Diámetro nominal	25 [mm]	Diámetro nominal	25 [mm]
Longitud	4 [m]	Longitud	4 [m]
Caudal	752 [L/h]	Caudal	752 [L/h]
Presión inicial	9,24 [mca]	Presión inicial	9,24 [mca]

TANQUE ALMACEN.		U	
Altura	19,80 [m]	Altura	19,80 [m]

CABEZAL DE RIEGO		U	
Presión inicial	18,43 [mca]	Presión inicial	18,43 [mca]

**3.2.5 Características económicas.** La Tabla 44 presenta las características económicas del sistema de riego por goteo de la Finca Villa María. El costo de los productos Netafim™ fue solicitado a una de las empresas distribuidoras en Colombia: Fertirriegos del Oriente, la orden de cotización se presenta en Anexo G. *Cotización productos Netafim.*

Tabla 44. Características económicas del sistema de riego por goteo

GOTEROS Y TUBERÍAS					
Ítem	Producto	Descripción	Cant.	Precio unitario [COP]	Precio total [COP]
1	Gotero PCJ - Autocompensado	Caudal de 4[L/h]	188	\$ 550	\$ 103.400
2	Manguera de PE - 16mm   5/8"	Rollo de 100 [metros]	4	\$ 50.000	\$ 200.000
3	Manguera de PE - 25mm   1"	Rollo de 100 [metros]	2	\$ 160.000	\$ 320.000
4	Manguera de PE - 32mm   1-1/4"	Rollo de 100 [metros]	1	\$ 260.000	\$ 260.000
				<b>SUBTOTAL</b>	\$ 883.400
FILTRO Y ACCESORIOS					
Ítem	Producto	Descripción	Cant.	Precio unitario [COP]	Precio total [COP]
5	Filtro de anillos manual de 1"	Arkal 1" filter 120 Mesh (short)	1	\$ 45.000	\$ 45.000
6	Válvula manual de PVC de 1-1/4"	Válvula de PVC lisa	1	\$ 8.200	\$ 8.200
7	Válvula manual de PVC de 1"	Válvula de PVC lisa	3	\$ 6.000	\$ 18.000
8	Válvula control de presión de 1"	Válvula de alivio de presión en bro	1	\$ 349.000	\$ 349.000
9	Conector reductor de 1-1/4" x 1"	Unión reducción de 1-1/4" x 1"	1	\$ 7.000	\$ 7.000
10	Final de línea - 16mm   5/8"	Fin de línea de anillo azul	47	\$ 800	\$ 37.600
11	Final de línea - 25mm   1"	Fin de línea barb	2	\$ 1.100	\$ 2.200
12	Conector de inicio - 16mm   5/8"	Conector inicial con silleta azul	14	\$ 1.600	\$ 22.400
13	T - 16mm   5/8"	Tee de polietileno de 5/8"	33	\$ 1.100	\$ 36.300
14	T - 25mm   1"	Tee de polietileno de 1"	1	\$ 1.800	\$ 1.800
15	Codo - 16mm   5/8"	Codo de polietileno de 1"	14	\$ 1.100	\$ 15.400
				<b>SUBTOTAL</b>	\$ 542.900
TANQUE DE ALMACENAMIENTO					
Ítem	Producto	Descripción	Cant.	Precio unitario [COP]	Precio total [COP]
16	Tanque de almacenamiento	10000 [L] - 256 x 297 [cm]	1	\$ 5.714.900	\$ 5.714.900,00
				<b>SUBTOTAL</b>	\$ 5.714.900,00
				<b>BALANCE TOTAL</b>	\$ 7.141.200,00

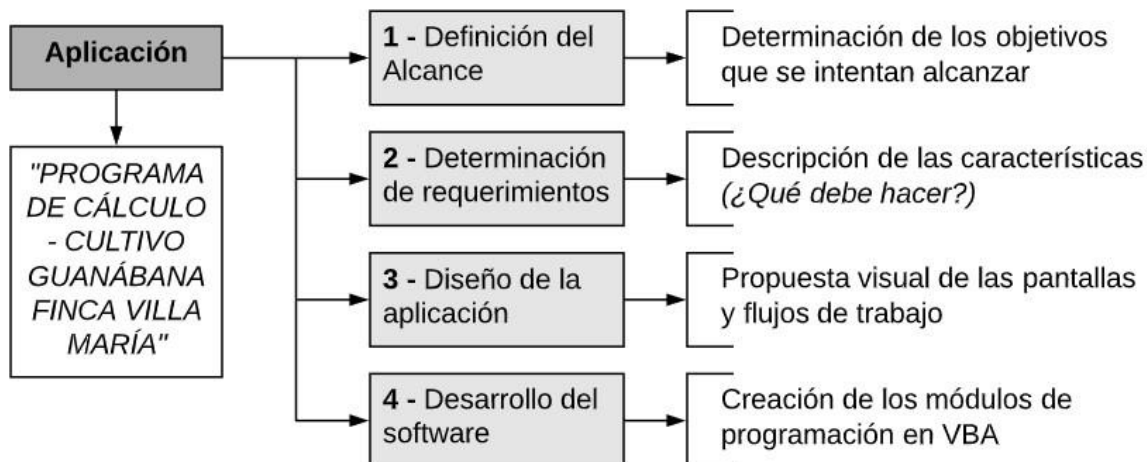
## 4. DESARROLLO DE APLICACIÓN, MODELAMIENTO 3D CAD Y SIMULACIÓN

### 4.1 DESARROLLO DE APLICACIÓN EN MICROSOFT EXCEL MEDIANTE VISUAL BASIC PARA APLICACIONES (VBA)

La aplicación se va a titular “PROGRAMA DE CÁLCULO - CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA” y va a permitir al usuario realizar los cálculos necesarios en el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego por goteo para la finca Villa María.

El desarrollo de la aplicación se va a dividir en cuatro etapas: definición del alcance, determinación de requerimientos, diseño de la aplicación y desarrollo del software. La Figura 26 muestra las etapas en el desarrollo de la aplicación.

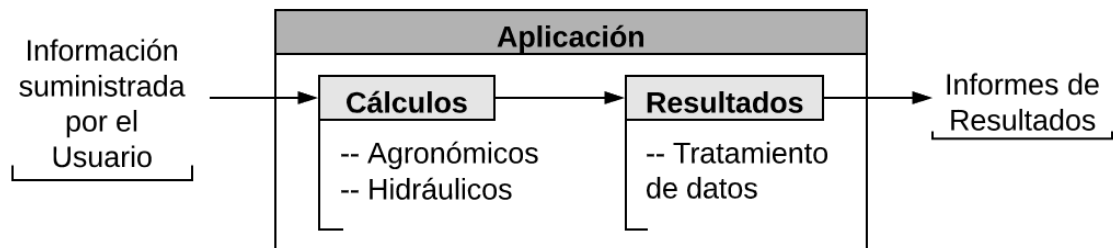
Figura 26. Etapas de desarrollo de la Aplicación.



**4.1.1 Definición del Alcance.** El objetivo principal es desarrollar una aplicación amigable con el usuario, que no necesita conocimientos técnicos avanzados en agronomía o hidráulica para usarla. En la aplicación, se va a poder

calcular hidráulicamente los tres tipos de disposiciones de goteros principales (anillos, doble lateral y zigzag) para comparar los resultados que se presentarán en forma de tablas y esquemas.

Figura 27. Esquema del alcance de la Aplicación.



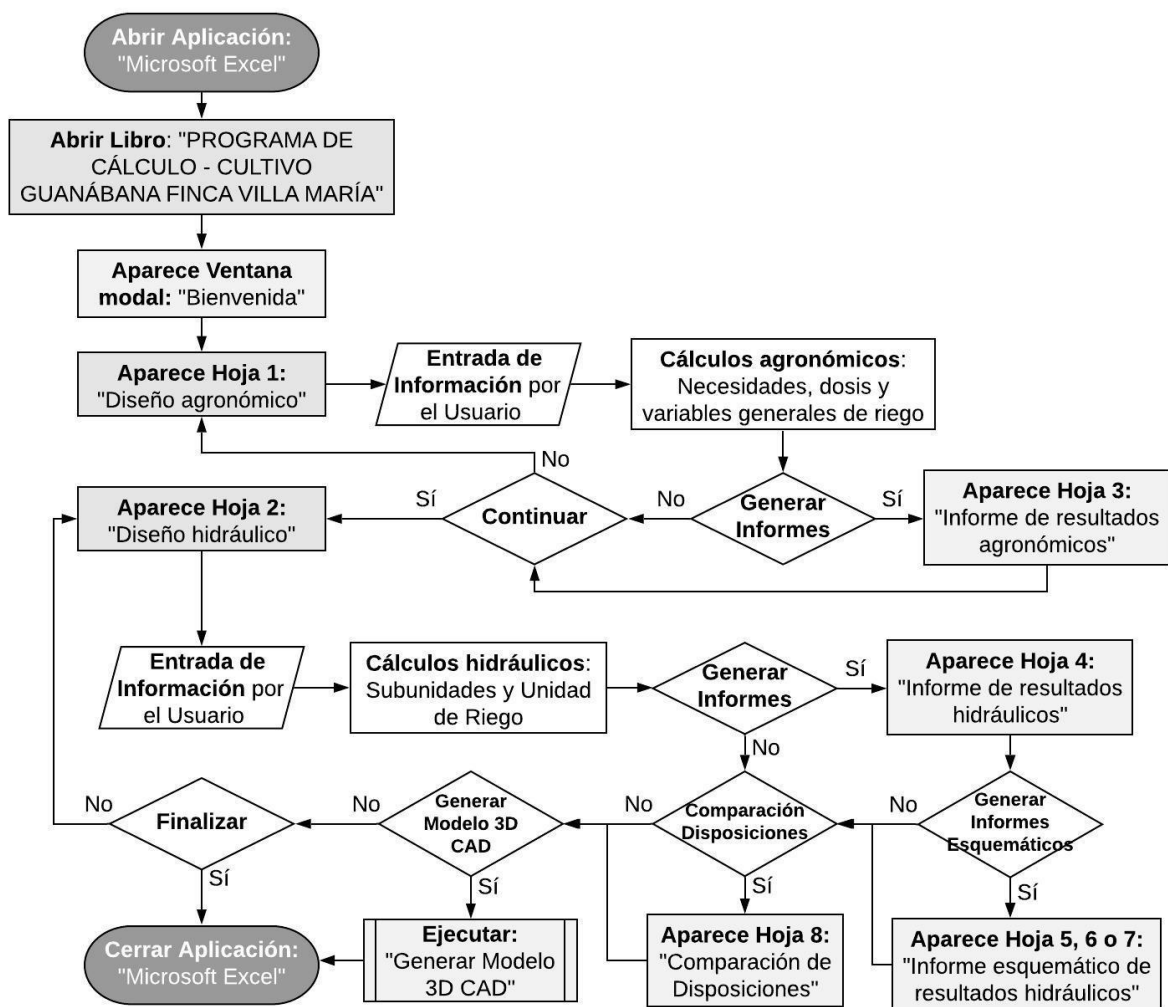
#### 4.1.2 Determinación de requerimientos.

Tabla 45. Determinación de requerimientos de la Aplicación.

Requerimientos de la Aplicación	
Ingreso de información	El usuario debe suministrar información de carácter general relacionada con las características del cultivo, seleccionar el tipo de gotero y las tuberías que desee para realizar los cálculos agronómicos e hidráulicos.
Interfaz de la aplicación	La aplicación debe tener una interfaz de usuario intuitiva y de fácil acceso. El usuario no necesitará conocimientos avanzados en agronomía, hidráulica o informática para usarla. La comunicación entre el usuario y la aplicación se realizará mediante botones, cuadros combinados, casillas de verificación y botones de opción, posicionados en la interfaz gráfica.
Cálculos agronómicos	Establecer una conexión con el software Engineering Equation Solver (EES) para realizar los cálculos agronómicos.
Cálculos hidráulicos	Establecer una conexión con el software Engineering Equation Solver (EES) para realizar los cálculos hidráulicos. Calcular hidráulicamente para las tres disposiciones de goteros principales: anillos, doble lateral y zigzag.
Informes de Resultados	Generar informes de resultados agronómicos e hidráulicos en forma de tablas y esquemas. Los informes podrán guardarse de forma independiente.
Comparación de Disposiciones	Comparar graficamente para las tres disposiciones de goteros: longitud total de tubería, porcentaje de variación de caudal, pérdidas de carga en la subunidad de riego con mayor demanda (subunidad 1) y altura mínima de funcionamiento.
Modelamiento 3D CAD	Establecer una conexión con el software SolidWorks para generar el modelo 3D CAD del sistema de riego por goteo (sólo para la disposición de anillos).

**4.1.3 Diseño de la aplicación.** Definidos el alcance y los requerimientos, se procede a presentar una propuesta visual de las principales pantallas de la aplicación y los flujos de trabajo en éstas. Como se observa en la Figura 28, la aplicación inicia con una ventana de bienvenida al usuario, pasa a la Hoja 1 “Diseño agronómico” y una vez finalizados los cálculos en ésta se avanza a la Hoja 2 “Diseño hidráulico”. En cada una de estas hojas, será posible generar los correspondientes “Informes de resultados Agronómicos/Hidráulicos” en las Hojas 3 y 4 respectivamente. Al final de la Hoja 2 “Diseño hidráulico” se podrá realizar la “Comparación de disposiciones” y el “Modelamiento 3D CAD”.

Figura 28. Diagrama de flujo de trabajo general de la aplicación.



#### 4.1.3.1 Ventana de bienvenida.

Al abrir el Libro “PROGRAMA DE CÁLCULO – CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA” dentro de Microsoft Excel el usuario se va a encontrar con una ventana de bienvenida, seguida de una ventana en la que se presenta el contenido de la aplicación. Estas ventanas se consideran como pantallas secundarias y se van a ejecutar de manera modal (superpuesta a la Hoja 1).

Figura 29. Ventana de bienvenida y ventana de contenido en la Aplicación.



#### 4.1.3.2 Hoja 1 – Diseño agronómico.

Figura 30. Propuesta visual Hoja 1 - Diseño Agronómico.

## SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

FINCA VILLA MARÍA  
CULTIVO DE GUANÁBANA


### DISEÑO AGRONÓMICO

#### 1 NECESIDADES DE RIEGO

→ Las **NECESIDADES NETAS DE RIEGO** dependen de las precipitaciones y la evapotranspiración del cultivo. VER TABLA DE REFERENCIA

→ Seleccione **MES** y **AÑO DE PERIODO VEGETATIVO** de la guanábana. i

Enero  Año 3

→ CALCULAR 


#### 2 DOSIS DE RIEGO

*Primera parte*

→ Seleccione el **TIPO DE SUELO** del cultivo.

Arenoso  Franco - arenoso  Franco  
 Franco - arcilloso  Arcilloso

→ Ingrese la **PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES** =  [cm] i


→ CALCULAR 

#### 3 VARIABLES GENERALES DE RIEGO

→ **TIPO DE SUELO** seleccionado para el cultivo:

→ Seleccione **TIPO** y **CAUDAL DEL GOTERO**. i

Autocompensante  4,0 [L/h]

→ CALCULAR 

GENERAR INFORME CONTINUAR >>

El flujo de trabajo en la Hoja 1 “Diseño agronómico” se divide en tres partes: necesidades de riego, dosis de riego y variables generales de riego.

--- **1. Necesidades de riego.** Según lo expuesto en la Sección 3.2.2 (véase Figura 17) para determinar las necesidades de riego se necesita información climatológica específica de la zona del cultivo y agronómica de la guanábana. Sin embargo, como se desea que la aplicación no solicite datos técnica avanzados, se toman los resultados obtenidos de las Necesidades Netas de Riego (véase Tabla 20) y sólo se pide al usuario seleccionar el mes y año de periodo vegetativo de la guanábana. Los valores de las Necesidades Netas de Riego se muestran en el botón “VER” para referencia, y el símbolo de ( i ) presenta información sobre el periodo vegetativo de la guanábana.

Figura 31. Propuesta visual - Resultados necesidades de riego.

**1 NECESIDADES DE RIEGO**

→ Las **NECESIDADES NETAS DE RIEGO** dependen de las precipitaciones y la evapotranspiración del cultivo. **VER** **TABLA DE REFERENCIA**

→ Seleccione **MES** y **AÑO DE PERIODO VEGETATIVO** de la guanábana. (i)

Enero Año 3

→ **CALCULAR**

**RESULTADOS**

VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Necesidad neta	Nn	2,66	[mm/día]
Necesidad bruta	Nb	2,96	[mm/día]

--- **2. Dosis de riego.** Una vez calculadas las necesidades de riego se abordan las dosis. El cálculo de las dosis se hace en dos partes: Primero, se solicita seleccionar el tipo de suelo y el valor de la profundidad de las raíces (el símbolo (i) presenta información sobre los valores generales de profundidad de raíces en árboles de guanábana) para calcular la

dosis neta de riego y el valor máximo de intervalo entre riegos; en seguida, se muestran aclaraciones respecto a los conceptos involucrados en este intervalo y se presenta un valor aproximado recomendado. La segunda parte, sólo es visible una vez se ha calculado la primera. En ésta es posible conservar o cambiar el intervalo entre riegos aproximado final deseado para calcular la cantidad de agua total que se suministrará a cada ganábano en el riego (dosis bruta de riego).

Figura 32. Propuesta visual - Resultados dosis de riego.

## 2 DOSIS DE RIEGO

**Primera parte**

→ Seleccione el **TIPO DE SUELO** del cultivo.

Arenoso     
  Franco - arenoso     
  Franco  
 Franco - arcilloso     
  Arcilloso

→ Ingrese la **PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES** =  [cm] ⓘ

→ CALCULAR

RESULTADOS INICIALES	VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
	Dosis neta	Dn	28,80	[mm]
	Intervalo entre riegos	I	10,83	[días]

**⚠ ACLARACIÓN** El **INTERVALO ENTRE RIEGOS** obtenido es un valor máximo por razones agronómicas que puede ser menor si se estima conveniente.

A continuación, se presenta el **INTERVALO ENTRE RIEGOS APROXIMADO** recomendado para la Finca Villa María.

RESULTADO RECOMENDADO	VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
	Intervalo entre riegos aproximado	laprox	8	[días] ⓘ

**Segunda parte**

→ ¿Desea conservar el **INTERVALO ENTRE RIEGOS APROXIMADO** recomendado?     Sí     No

→ CALCULAR

RESULTADOS FINALES	VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
	Dosis neta ajustada	Dn.ajust	21,28	[mm]
	Dosis bruta	Db	23,64	[mm]
	Intervalo entre riegos aproximado	laprox	8	[días]

--- **Variables generales de riego.** Los cálculos agronómicos concluyen con las variables generales de riego: número de goteros, tiempo de aplicación y distancia entre goteros. Para realizar estos cálculos el usuario sólo deberá seleccionar el tipo de gotero que desea y el valor del caudal de éste. En el símbolo ( i ) se presenta información respecto a los tipos de goteros autocompensantes y no autocompensantes.

Figura 33. Propuesta visual - Resultados variables generales de riego.

**3 VARIABLES GENERALES DE RIEGO**

→ TIPO DE SUELO seleccionado para el cultivo:

→ Seleccione TIPO y CAUDAL DEL GOTERO. i

→

**RESULTADOS**

VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Número de goteros	ne	4	[goteros]
Tiempo de aplicación	ta	3,45	[horas]
Distancia entre goteros	Dist_ goteros	0,85	[m]

#### 4.1.3.3 Hoja 3 – Informe de resultados agronómicos.

Figura 34. Propuesta visual - Informe de resultados agronómicos.

INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO			CONDICIONES CLIMÁTICAS SELECCIONADAS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO	
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	MES	AÑO PERIODO VEGETATIVO
Área del cultivo	1/4	[ha]	Enero	3: Maduración (Etapa de recolección)
Número de árboles a irrigar	47			
Distancia entre árboles	5	[m]		
Filas de árboles	14			
Distancia entre filas de árboles	6	[m]		
Pendiente del terreno	10	[%]		
			CONDICIÓN CRÍTICA	Sí

Figura 34. Propuesta visual – Informe de resultados agronómicos (Continuación).

RESULTADOS DEL DISEÑO AGRONÓMICO						
VARIABLES				PARÁMETROS		
Necesidades netas de riego máximas	Nn	2,66	[mm/día]	Evapotranspiración del cultivo	ETc	3,72 [mm/día]
				Precipitación efectiva	Pe	1,05 [mm/día]
Necesidades brutas de riego	Nb	2,96	[mm/día]	Eficiencia de aplicación	Ea	90 [%]
Dosis neta de riego	Dn	28,80	[mm]	Agua utilizable por el cultivo	AU	96 [mm]
				Déficit permisible de manejo	DPM	30 [%]
Dosis bruta de riego	Db	23,64	[mm]	Dosis neta de riego ajustada	Dn.ajust	21,28 [mm]
Intervalo entre riegos aprox.	laprox	8	[días]	Intervalo entre riegos	I	10,83 [días]
Número de goteros por planta	ne	4	[goteros]	Superficie mojada por planta	Superf_mxp	2,33 [m <sup>2</sup> ]
				Superficie mojada por gotero	Superf_mxg	0,79 [m <sup>2</sup> ]
Tiempo de aplicación	ta	3,45	[horas]	Diámetro mojado del bulbo húmero	Dm_bulbo	1,00 [m]
Distancia entre goteros	Dist_goteros	0,85	[m]			

<b>EN RESUMEN:</b> Para cada árbol de guanábana	<b>Dosis de riego</b>	23,64 [mm] = 55,1 [L] = 15 [galones]
	<b>Tiempo de aplicación</b>	03:27:00 [horas:minutos:segundos]
	<b>Intervalo entre riegos</b>	8 [días]

<< REGRESAR

GUARDAR

#### 4.1.3.4 Hoja 2 – Diseño hidráulico.

En esta parte, la Hoja 2 se divide en fases y etapas semejante a lo presentado en la Sección 3.2.3 (véase Figura 18).

En la Etapa 1 de la Fase 1 el usuario debe seleccionar la disposición de goteros que desea calcular. El símbolo ( i ) muestra un esquema de los tres tipos de disposiciones de goteros disponibles. Las siguientes etapas sólo se muestran una vez se ha seleccionado una disposición.

Dependiendo de la disposición seleccionada, se harán visibles los botones para calcular tanto la subunidad como la unidad de riego. Si se escoge “Todas las disposiciones” entonces se mostrarán todos los botones. El usuario sólo deberá seleccionar el modelo de tubería dependiendo del diámetro que desee en cada uno de los grupos de líneas presentes en el sistema.

Figura 35. Propuesta visual - Hoja 2 Diseño hidráulico.

**SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO**

FINCA VILLA MARÍA  
CULTIVO DE GUANÁBANA

**DISEÑO HIDRÁULICO**

**FASE 1 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN**

**ETAPA 1 RED DE DISTRIBUCIÓN**

→ Seleccione la **DISPOSICIÓN DE GOTEROS** que desea calcular. ⓘ

Todas las disposiciones ▾

Si selecciona "*Todas las disposiciones*" se va a calcular para las tres disposiciones con los mismos valores de diámetro.

**ETAPA 2 GOTEROS**

→ A continuación, se presenta un resumen de la **INFORMACIÓN GENERAL** y **TÉCNICA** del **GOTERO** seleccionado en el diseño agronómico.

INFORMACIÓN  
GENERAL

TIPO DE GOTERO	(PCJ) Autocompensante		
VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Número de goteros por árbol	ne	4	[goteros]

INFORMACIÓN  
TÉCNICA  
NETAFIM™

REFERENCIA TÉCNICA NETAFIM™	PCJ		
VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Caudal	Qgotero	4,0	[L/h]
Presión nominal	Pnom	1	[bar]
Coefficiente de descarga	K	4,0	-
Exponente de descarga	x	0,0001	-

→ En las siguientes etapas, seleccionará para cada tubería el **DIÁMETRO** deseado.

VER

TABLA DE REFERENCIA: TUBERÍAS NETAFIM PE ESTÁNDAR

**ETAPA 3**

→ Antes de continuar, revise el **DIAGRAMA ESQUEMÁTICO** del sistema de riego por goteo en la Finca Villa María dependiendo de la disposición de los goteros.

VER

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DE ANILLOS

VER

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL

VER

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DE ZIGZAG

**TUBERÍAS SUB-LATERALES** ⓘ

SUB-UNIDAD 1

Modelo 16/4 - 16mm - 5/8" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	16	[mm]
Espesor de pared	1,0	[mm]

SUB-UNIDAD 2

Modelo 16/4 - 16mm - 5/8" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	16	[mm]
Espesor de pared	1,0	[mm]

Figura 35. Propuesta visual – Hoja 2 Diseño hidráulico (Continuación).

**TUBERÍAS LATERALES**

**SUB-UNIDAD 1**

Modelo 16/4 - 16mm - 5/8" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	16	[mm]
Espesor de pared	1,0	[mm]

**SUB-UNIDAD 2**

Modelo 16/4 - 16mm - 5/8" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	16	[mm]
Espesor de pared	1,0	[mm]

**ETAPA 4 TUBERÍAS TERCIARIAS**

**SUB-UNIDAD 1**

Modelo 25/4 - 25mm - 1" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	25	[mm]
Espesor de pared	1,5	[mm]

**SUB-UNIDAD 2**

Modelo 25/4 - 25mm - 1" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	25	[mm]
Espesor de pared	1,5	[mm]

→ CÁLCULO DE SUB-UNIDAD

DISPOSICIÓN DE ANILLOS

DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL

DISPOSICIÓN DE ZIGZAG

→ Antes de continuar,  
¿Desea revisar nuevamente los **DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS** del Sistema?

VER	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DE ANILLOS
VER	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL
VER	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DE ZIGZAG

**ETAPA 5 TUBERÍAS SECUNDARIAS**

**TUBERÍAS SECUNDARIAS**

**UNIDAD DE RIEGO**

Modelo 25/4 - 25mm - 1" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	25	[mm]
Espesor de pared	1,5	[mm]

**TUBERÍA PRIMARIA**

**UNIDAD DE RIEGO**

Modelo 25/4 - 25mm - 1" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	25	[mm]
Espesor de pared	1,5	[mm]

**FASE 2 SISTEMA DE TRANSPORTE**

**ETAPA 6 TUBERÍA DE TRANSPORTE**

**UNIDAD DE RIEGO**

Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDADES
Diámetro	32	[mm]
Espesor de pared	1,3	[mm]

→ CÁLCULO UNIDAD DE RIEGO

DISPOSICIÓN DE ANILLOS

DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL

DISPOSICIÓN DE ZIGZAG

132

Figura 35. Propuesta visual – Hoja 2 Diseño hidráulico (Continuación).

Los resultados para cada disposición serán planteados bajo la misma propuesta visual. Las Figuras 36 y 37 muestran los resultados seleccionando la disposición de anillos para la subunidad y unidad de riego respectivamente. Se decide separar los cálculos debido a que la comprobación de la subunidad de riego se realiza verificando las pérdidas de presión y el porcentaje de variación de caudal; y, en la unidad de riego, se comprueba mediante los límites de velocidad permitidos. Las propuestas visuales completas para los resultados de todas las disposiciones se presentan en el *Anexo H. Propuestas visuales de la aplicación “PROGRAMA DE CÁLCULO – CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA”*

Figura 36. Propuesta visual - Resultados subunidad disposición de anillos.

RESULTADOS DISPOSICIÓN DE ANILLOS			
<b>ACLARACIÓN</b> Recuerde que las <b>PÉRDIDAS</b> deben ser <b>MENORES</b> a las <b>PÉRDIDAS ADMISIBLES</b>  Si el valor de las <b>PÉRDIDAS</b> aparece en rojo, el <b>DIÁMETRO</b> seleccionado es <b>INVÁLIDO</b> .			
SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Pérdidas	0,02	[mca]
	Pérdidas admisibles	2750,00	[mca]
	Presión inicial	10	[mca]
2	Pérdidas	0,02	[mca]
	Pérdidas admisibles	2750,00	[mca]
	Presión inicial	10	[mca]
TUBERÍAS LATERALES			
SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Pérdidas	0,07	[mca]
	Pérdidas admisibles	2750,00	[mca]
	Presión inicial	9,15	[mca]
2	Pérdidas	0,06	[mca]
	Pérdidas admisibles	2750,00	[mca]
	Presión inicial	8,40	[mca]

Figura 36. Propuesta visual - Resultados subunidad disposición de anillos (Continuación).

TUBERÍAS TERCIARIAS			
SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Pérdidas	0,26	[mca]
	Pérdidas admisibles	9999,91	[mca]
	Presión inicial	7,50	[mca]
2	Pérdidas	0,24	[mca]
	Pérdidas admisibles	9999,92	[mca]
	Presión inicial	8,57	[mca]

**COMPROBACIÓN ADICIONAL EN LA SUB-UNIDAD DE RIEGO**

*"El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo limita la variación máxima de caudal a un 10% en la unidad de riego".*

SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Variación de caudal	0,00035	[%]
2	Variación de caudal	0,00032	[%]

Figura 37. Propuesta visual - Resultados unidad disposición de anillos.

TUBERÍA	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Tuberías secundarias	Pérdidas	0,63	[mca]
	Presión inicial	9,21	[mca]
	Velocidad	0,28	[m/s]
Tubería Primaria	Pérdidas	0,24	[mca]
	Presión inicial	9,24	[mca]
	Velocidad	0,55	[m/s]
Cabezal de riego	Pérdidas	9,18	[mca]
	Presión inicial	18,43	[mca]
Tubería de transporte	Pérdidas	1,17	[mca]
	Velocidad	0,31	[m/s]

**RESULTADOS DISPOSICIÓN DE ANILLOS**

**ACLARACIÓN**  
La **VELOCIDAD** recomendada se encuentra entre 0,25 y 2,5 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad.  
Si el valor de la **VELOCIDAD** aparece en rojo, el **DIÁMETRO** seleccionado es **INVÁLIDO**.

**RESULTADO FINAL**

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Altura mínima de Funcionamiento <span style="color: blue;">(i)</span>	19,80	[m]

El símbolo ( i ) en el cabezal de riego muestra los componentes que lo conforman y en la altura mínima de funcionamiento muestra un esquema similar al de la Figura 24.

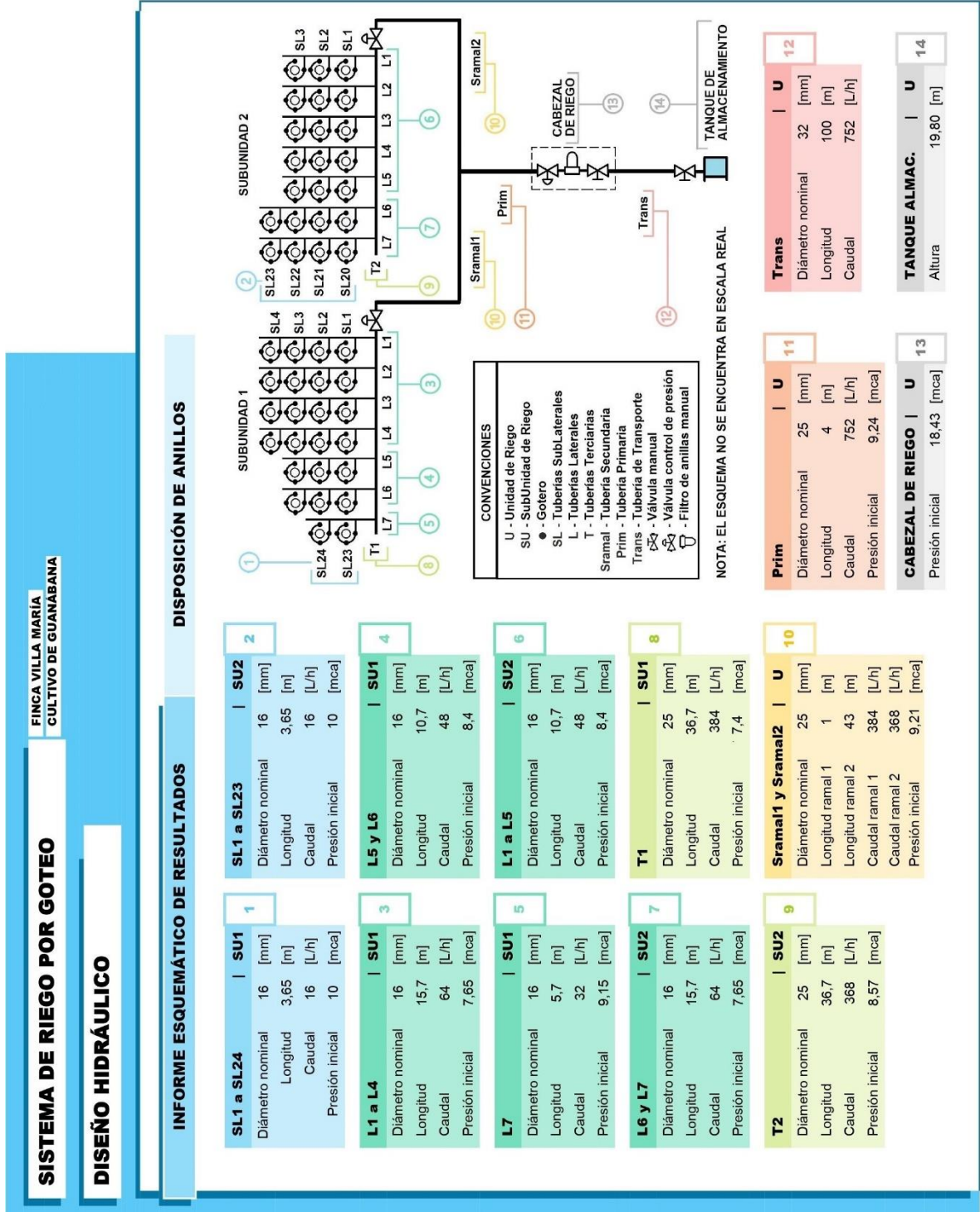
#### 4.1.3.5 Hoja 4 – Informe de resultados hidráulicos.

Figura 38. Propuesta visual - Informe de resultados hidráulicos disposición de anillos.

INFORME DE RESULTADOS			DISPOSICIÓN DE ANILLOS		
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO</b>			<b>CONDICIONES CLIMÁTICAS SELECCIONADAS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>			
Área del cultivo	1/4	[ha]			
Número de árboles a irrigar	47				
Distancia entre árboles	5	[m]			
Filas de árboles	14				
Distancia entre filas de árboles	6	[m]			
Pendiente del terreno	10	[%]			
			<b>MES</b>		
			<b>AÑO PERIODO VEGETATIVO</b>	3: Maduración (Etapa de recolección)	
			<b>CONDICIÓN CRÍTICA</b>	No	
<b>RESULTADOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO</b>					
<b>FASE 1 - SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</b>					
<b>ETAPA</b>		<b>DESARROLLO</b>			
1	<b>RED DE DISTRIBUCIÓN</b>	Disposición de goteros	Disposición de Anillos		
2	<b>GOTEROS</b>	Referencia técnica	PCJ - Netafim™	Caudal del gotero	4,0 [L/h]
		Cantidad total	188	Presión nominal	10 [mca]
3	<b>TUBERÍAS SUB-LATERALES</b>	Referencia técnica	Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	16 [mm]
		Número de tuberías	47	Espesor de pared	1,0 [mm]
	<b>TUBERÍAS LATERALES</b>	Referencia técnica	Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	16 [mm]
		Número de tuberías	14	Espesor de pared	1,0 [mm]
4	<b>TUBERÍAS TERCIARIAS</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	2	Espesor de pared	1,5 [mm]
5	<b>TUBERÍAS SECUNDARIAS</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	2	Espesor de pared	1,5 [mm]
	<b>TUBERÍA PRIMARIA</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	1	Espesor de pared	1,5 [mm]
			Longitud total	4 [m]	
<b>FASE 2 - SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</b>					
<b>ETAPA</b>		<b>DESARROLLO</b>			
6	<b>TUBERÍA DE TRANSPORTE</b>	Referencia técnica	Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	32 [mm]
		Número de tuberías	1	Espesor de pared	1,3 [mm]
				Longitud total	100 [m]
<b>&lt;&lt; REGRESAR</b>		<b>CAMBIAR INFORME</b>		<b>VER INFORME ESQUEMÁTICO</b>	
				<b>GUARDAR</b>	

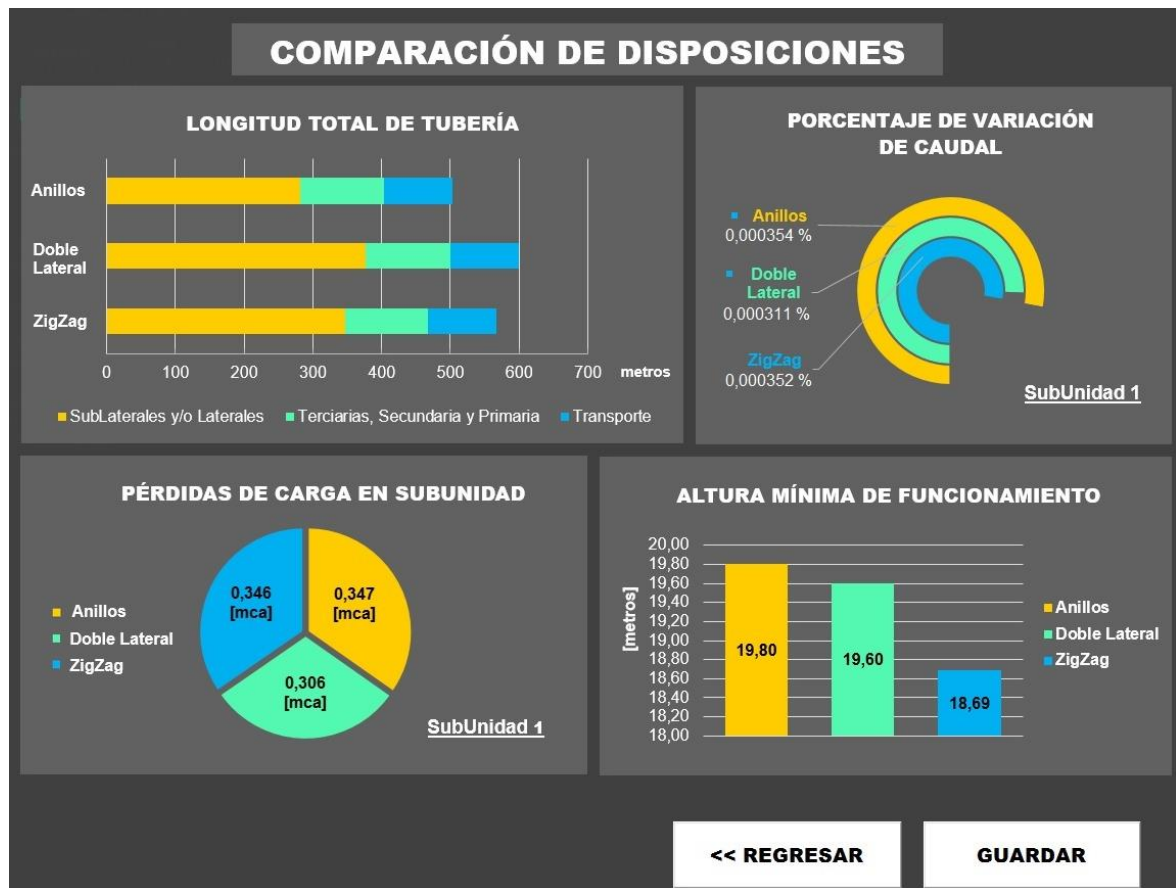
4.1.3.6 Hoja 5, 6 y 7 – Informe esquemático de resultados hidráulicos.

Figura 39. Propuesta visual - Informe esquemático de resultados hidráulicos disposición de anillos.



**4.1.3.7 Hoja 8 – Comparación de disposiciones.** La comparación sólo se habilita cuando se ha seleccionado calcular para todas las disposiciones. En esta pantalla se intenta mostrar con varios tipos de gráficos las diferencias entre los valores obtenidos de longitud total de tubería, porcentaje de variación de caudal, pérdidas de carga y altura mínima de funcionamiento.

Figura 40. Propuesta visual - Comparación de disposiciones.



**4.1.3.8 Generar Modelo 3D CAD.** La parte final de la Hoja 2 Diseño hidráulico contiene un apartado extra para la generación del Modelo 3D CAD (véase Figura 35).

Para generar el Modelo 3D CAD se va a hacer uso de un libro de Excel nuevo titulado "RESULTADOS\_PRESOLIDWORKS".

El libro contiene una única hoja y va a presentar el resumen de los modelos de tuberías seleccionados. En este caso, el usuario sólo debe oprimir un botón si desea generar el modelo 3D CAD del sistema de riego por goteo. No se va a solicitar ningún tipo de información.

Figura 41. Propuesta visual - Hoja 1 del libro RESULTADOS\_PRESOLIDWORKS

**MODELAMIENTO 3D CAD**
**DISPONIBLE SÓLO PARA DISPOSICIÓN DE ANILLOS**

→ A continuación, se presenta un resumen de los modelos de tubería seleccionados en la **DISPOSICIÓN DE ANILLOS**.

TUBERÍA	MODELO NETAFIM™
Sublaterales	Modelo 16/4 - 16mm - 5/8"
Laterales	Modelo 16/4 - 16mm - 5/8"
Terciarias	Modelo 25/4 - 25mm - 1"
Secundaria	Modelo 25/4 - 25mm - 1"
Primaria	Modelo 25/4 - 25mm - 1"
Transporte	Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4"
<b>ALTURA MÍNIMA DE FUNCIONAMIENTO</b>	<b>19,80 [m]</b>

→ Seleccione únicamente si el equipo en el que se encuentra tiene instalado el software CAD **SOLIDWORKS VERSIÓN 2018** en adelante.

**GENERAR  
MODELO 3D CAD**

**4.1.4 Desarrollo del software.** Definido el flujo de trabajo general y las pantallas principales de la aplicación “PROGRAMA DE CÁLCULO - CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA” se procede a la etapa final: desarrollo del software. Como se ha especificado, la aplicación se desarrollará en Microsoft Excel mediante Visual Basic para Aplicaciones (VBA).

Para programar en Microsoft Excel se hará uso de las Macros. “Una Macro, abreviatura de macroinstrucción, es una serie de instrucciones que se almacenan en la memoria del computador para que puedan ser ejecutadas de forma secuencial mediante una sola llamada u orden de ejecución”<sup>100</sup>.

<sup>100</sup> PEÑA ESCOBAR, Miguel Angel. Modelado sólido de engranajes rectos no estándar usando la API SDK SolidWorks 2010. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, 2011, 170 p.

Para programar en una Macro se usa Visual Basic para Aplicaciones (VBA), lenguaje de programación orientado a objetos de Microsoft Visual Basic, adaptado a las diferentes aplicaciones que conforman Microsoft Office (Excel, Word, etc.). Para más información respecto al lenguaje VBA véase *Anexo I. Fundamentos básicos de Visual Basic para Aplicaciones (VBA)*.

Las macros completas y los códigos en EES se muestran en el *Anexo J. Macros en Excel y SolidWorks de la aplicación “PROGRAMA DE CÁLCULO – CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA”* y *Anexo K. Códigos EES para los cálculos agronómicos e hidráulicos*, respectivamente.

A continuación, se presentan los flujos de trabajo específicos en la Hoja 1 “Diseño agronómico” y Hoja 2 “Diseño hidráulico” con los fragmentos de las macros más relevantes en el desarrollo de los cálculos.

**4.1.4.1 Hoja 1 – Diseño agronómico.** El flujo de trabajo en la Hoja 1 (véase Sección 4.1.3.2) se divide en tres partes: necesidades de riego, dosis de riego y variables generales de riego. Los cálculos correspondientes a las dos primeras partes se realizan internamente en Excel; es decir, las ecuaciones se encuentran contenidas dentro de las macros. Por el contrario, para calcular la última parte se necesita de la ayuda del software Engineering Equation Solver (EES).

Para controlar EES desde Excel se requieren comandos de Intercambio de Datos Dinámico (DDE – *Dynamic Data Exchange*). “DDE es un protocolo de intercambio dinámico de datos entre dos aplicaciones Windows, una llamada cliente o *destination*, la otra llamada servidor o *source*. El vínculo se rompe si alguna de las dos aplicaciones se cierra”<sup>101</sup>.

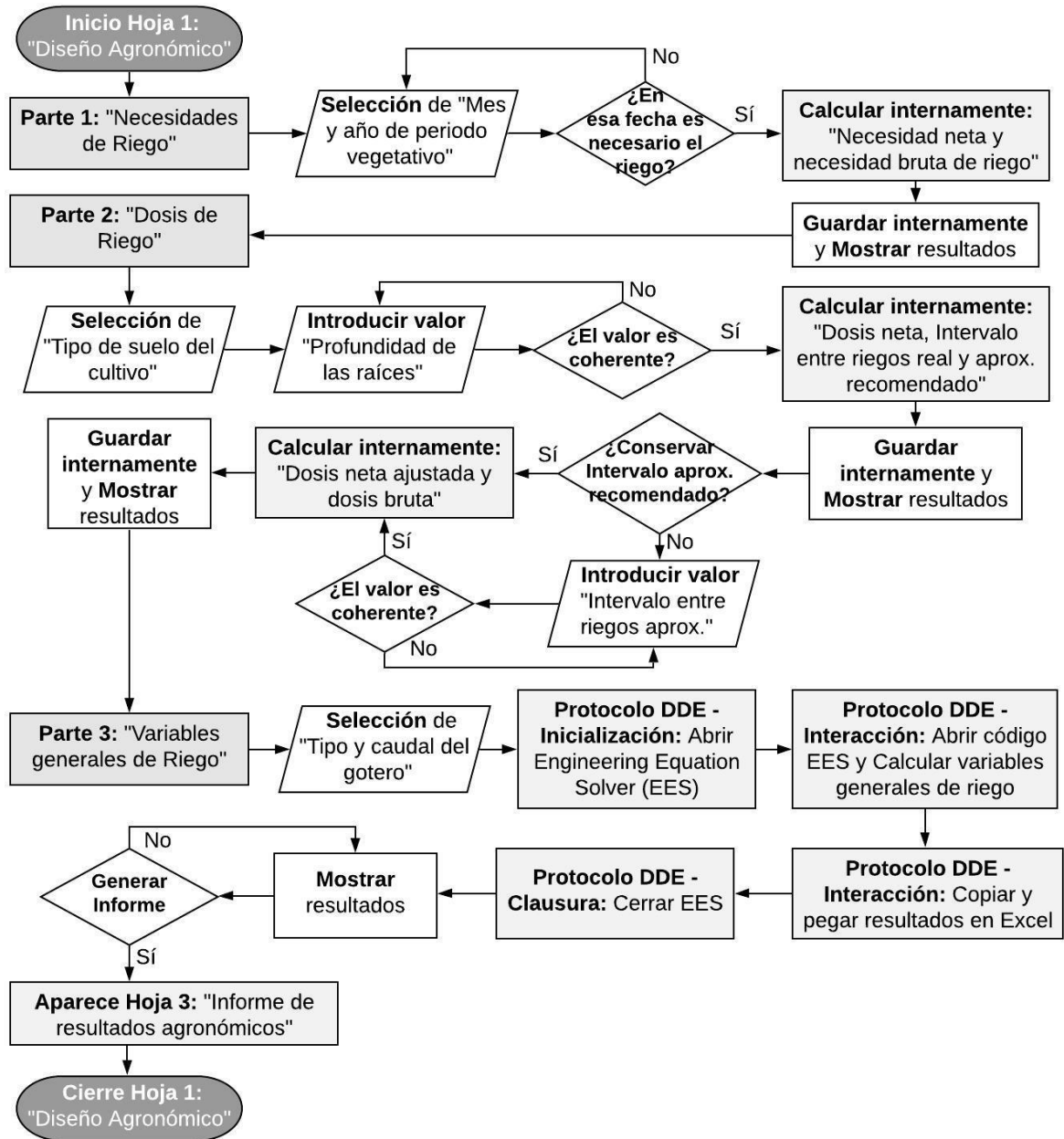
La creación de este vínculo entre Excel y EES regido por el protocolo DDE presenta tres fases:

- Inicialización: Se abre un canal de comunicación entre las aplicaciones.
- Interacción: Comunicación entre aplicaciones para ejecutar procesos deseados.
- Clausura: Se cierra el canal de comunicación entre las aplicaciones (hacer buen uso y ahorrar recursos del computador).

---

<sup>101</sup> Ediciones ENI. Vínculos entre aplicaciones: el protocolo DDE. [En línea]. En: VBA Excel 2007 – Programar en Excel Macros y Lenguaje VBA. (Recuperado en 12 de agosto de 2020). Disponible: <https://www.ediciones-eni.com/open/mediabook.aspx?idR=c40da974bc7e277814e452354c109d14>

Figura 42. Diagrama de flujo de trabajo en Hoja 1 Diseño agronómico



El fragmento más relevante de macro asociado a la Hoja 1 es el procedimiento encargado de calcular la "Parte 3: Variables generales de riego" mostrado en la Figura 43.

Figura 43. Código VBA de cálculo Parte 3 Variables generales de riego.

```

Sub CAgroP3()
'Este procedimiento calcula la parte final del Diseño Agronómico mediante EES.

'Declarar las variables necesarias para interactuar con EES:
Dim NumeroCanal As Integer
Dim RutaEES As String

'Declarar las variables para operar los rangos:
Dim Resultados As Range '---> Va a contener las celdas donde se van a pegar los resultados de EES.
Dim Celda As Range '---> Para ser usada en el For y permitir que se cambie el formato de celda.

'Establecer el valor por defecto a las variables de EES:
NumeroCanal = -1 '---> Valor inicial para más adelante comparar si se estableció correctamente el Canal de Com
RutaEES = "C:\CARPETA_CGUANABANA\newEES_portable\newEES_portable\EES.exe" '---> Ruta del ejecutable del pro

'Control de Errores: Instrucción específica.
On Error Resume Next '---> Ignora la línea del error y esa variable toma el valor por defecto, y sigue adelant

'Copiar las celdas que contienen los datos de entrada para calcular en EES:
Worksheets(1).Range("AM84:A084").Select '---> Se selecciona: contienen el Dm_bulbo, Q_dot_emisor y la Db.
Selection.Copy '---> Se copia la selección.

'Abrir EES: (Nota: La función Shell permite abrir un documento tipo OLE desde cualquier ubicación.)
Shell_R = Shell(RutaEES, 1) '---> El argumento '1' = La ventana tiene foco y se restauran su tamaño y posición
'Si el programa se abre correctamente mediante Shell, la variable Shell_R guarda el valor del ID del procedimiento
'Si el programa no se abre, la variable Shell_R guarda el 0 que devuelve Shell.

'Control de Errores: Sólo se ejecutan las Interacciones con EES si el programa se pudo abrir mediante Shell corre
If Shell_R <> "" Then '---> Si se logró ejecutar EES correctamente.

'Protocolo de DDE (Dynamic Data Exchange):
'[1. Inicialización]
'Abrir un Canal de Comunicación a EES y guardar el número de este Canal en la variable correspondiente:
NumeroCanal = Application.DDEInitiate(app:="ees", topic:="")
'Control de Errores:
'Si se logra abrir el Canal de comunicación correctamente, el valor por defecto -1 debe cambiar.
If NumeroCanal <> -1 Then '---> Si se creó el Canal correctamente.

'[2. Interacción]
'---> Instrucción: ENTER para seleccionar Continuar cuando abre el programa.
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[ENTER]"
'---> Instrucción: ABRIR el archivo EES.
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Open C:\CARPETA_CGUANABANA\EES\1. DISEÑO AGRONÓMICO (Parte3).ees]"
'---> Instrucción: PEGAR en la Tabla paramétrica 1 los valores copiados previamente (Dm_bulbo, Q_dot_gote)
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Paste Parametric 'Table 1' R1 C1: R1 C3]"
'---> Instrucción: SOLUCIONAR la Tabla paramétrica 1.
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[SOLVETABLE 'TABLE 1' Rows=1..8]"
'---> Instrucción: COPIAR los valores de la Fila 1 (R1) Columna 4 (C4) hasta la Fila 1 (R1) Columna 8 (C8)
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[COPY ParametricTable 'Table 1' R1 C4:R1 C8]"

'Para cambiar el formato de los valores que viene de EES de números exp(Ejm:1E+01) a texto:
'Establecer las celdas donde se van a pegar los resultados:
Set Resultados = Worksheets(1).Range("AP84:AT84")
Resultados.NumberFormat = "@" '---> Especificar que el formato de esas celdas sea tipo texto.

'---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
ActiveSheet.Paste Destination:=Worksheets(1).Range("AP84:AT84")

'Para cambiar el formato de los valores de texto a números con dos cifras decimales:
Resultados.NumberFormat = "General" '---> Establecer formato de celdas General.
'Ahora, se va a cambiar el formato de cada celda a tipo general a número con dos cifras decimales
For Each Celda In Resultados '---> Para recorrer cada Celda especificada en la variable Result
    Celda.Value = FormatNumber(CSng(Celda.Value), 2) '---> Establecer sólo dos cifras decimal
    Celda.Value = CSng(Celda.Value) '---> Establecer variable de tipo Single
Next Celda

```

Figura 43. Código VBA de cálculo Parte 3 Variables generales de riego (Continuación).

```
'---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
DDEExecute NumeroCanal, "[QUIT]"

'[3. Clausura]
Application.DDETerminate NumeroCanal '---> Finalizar/Cerrar el Canal de Comunicación DDE.

Else
  MsgBox "No se puede iniciar la comunicación con el software EES." & vbCrLf & "Inténtelo nuevamente o cont
End If

Else '---> Si no se logró ejecutar EES.
  MsgBox "No se pudo abrir el software EES." & vbCrLf & "Por favor, asegúrese de que la carpeta 'CARPETA_CG
End If

End Sub
```

**4.1.4.2 Hoja 2 – Diseño hidráulico.** El flujo de trabajo en la Hoja 2 (véase Sección 4.1.3.4) se divide en etapas y fases. A diferencia de los cálculos agronómicos, el modelo matemático empleado en el diseño hidráulico es mucho más extenso y posee una cantidad mayor de variables para desarrollarse. Debido a esto, el cálculo de la subunidad y unidad de riego se realizan completamente en el software EES controlado desde Excel mediante comandos de Intercambio de Datos Dinámico DDE explicados en el inciso anterior.

La generación del Modelo 3D CAD busca automatizar el proceso de ensamblaje del sistema de riego por goteo en SolidWorks. Los componentes del sistema serán modelados previamente, y se hará un ensamblaje base que será usado tanto para los estudios y simulaciones correspondientes, como para la creación de una Macro que permita modificar el ensamblaje del sistema de acuerdo con los modelos de tubería seleccionados. El modelamiento de los componentes se explica con mayor detalle en la *Sección 4.2 Modelamiento 3D CAD en SolidWorks mediante técnicas de diseño paramétrico*.

La integración de las API (*Application Programming Interface*, o Interfaz de Programación de Aplicaciones) de Excel y SolidWorks es posible debido a que el lenguaje de programación VBA fue puesto a disposición de desarrolladores de software de terceros, como es el caso de SolidWorks Corporation. En consecuencia, se puede emplear el mismo lenguaje de programación en la creación de Macros tanto en Excel como en SolidWorks.

Para integrar el código de la API de SolidWorks en Excel es necesario hacer referencia a la Biblioteca de tipos de SolidWorks, donde se encuentra toda la información necesaria para que ambos códigos puedan “comprenderse”.

Figura 44. Diagrama de flujo de trabajo en la Hoja 2 Diseño hidráulico.

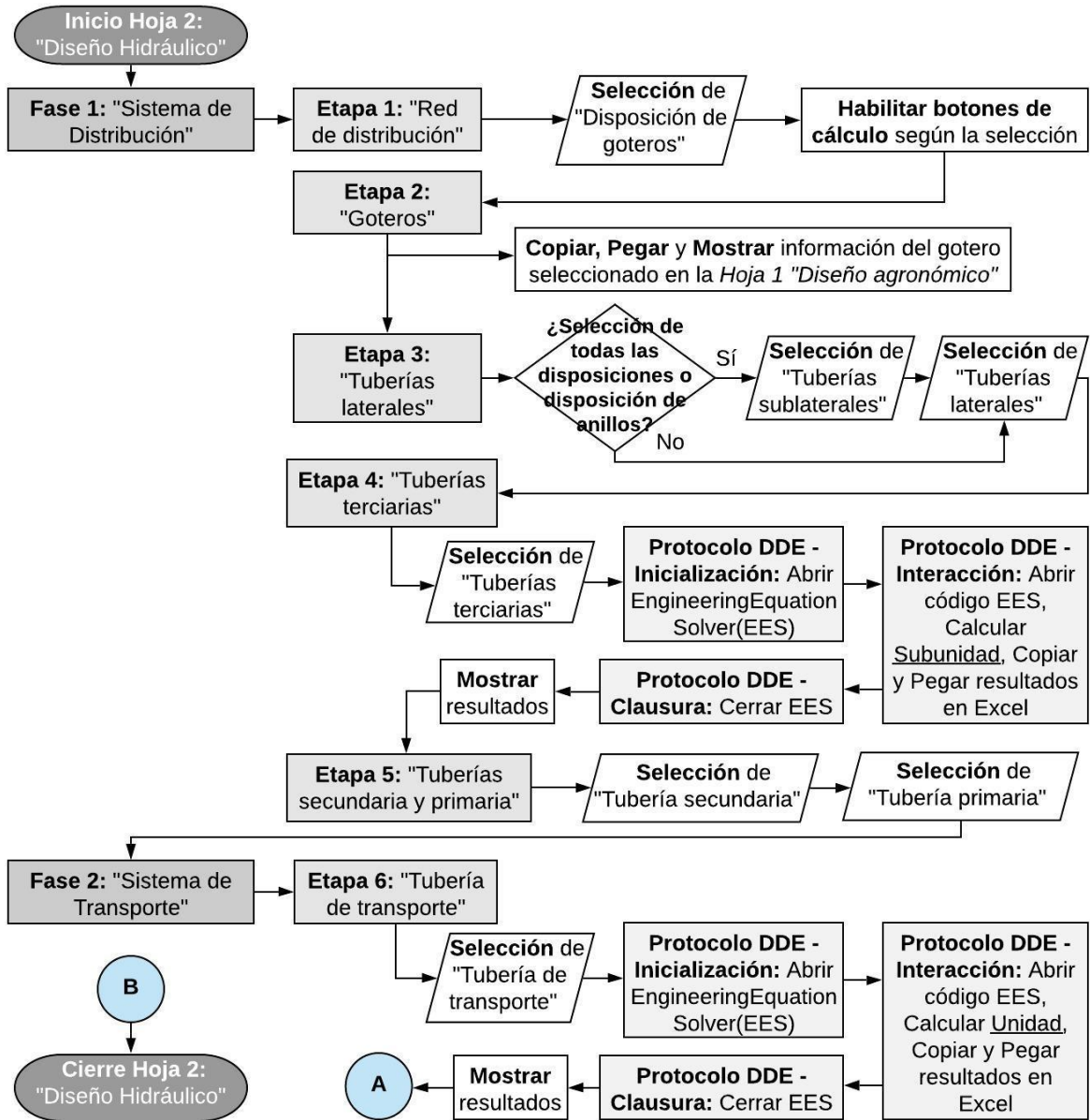
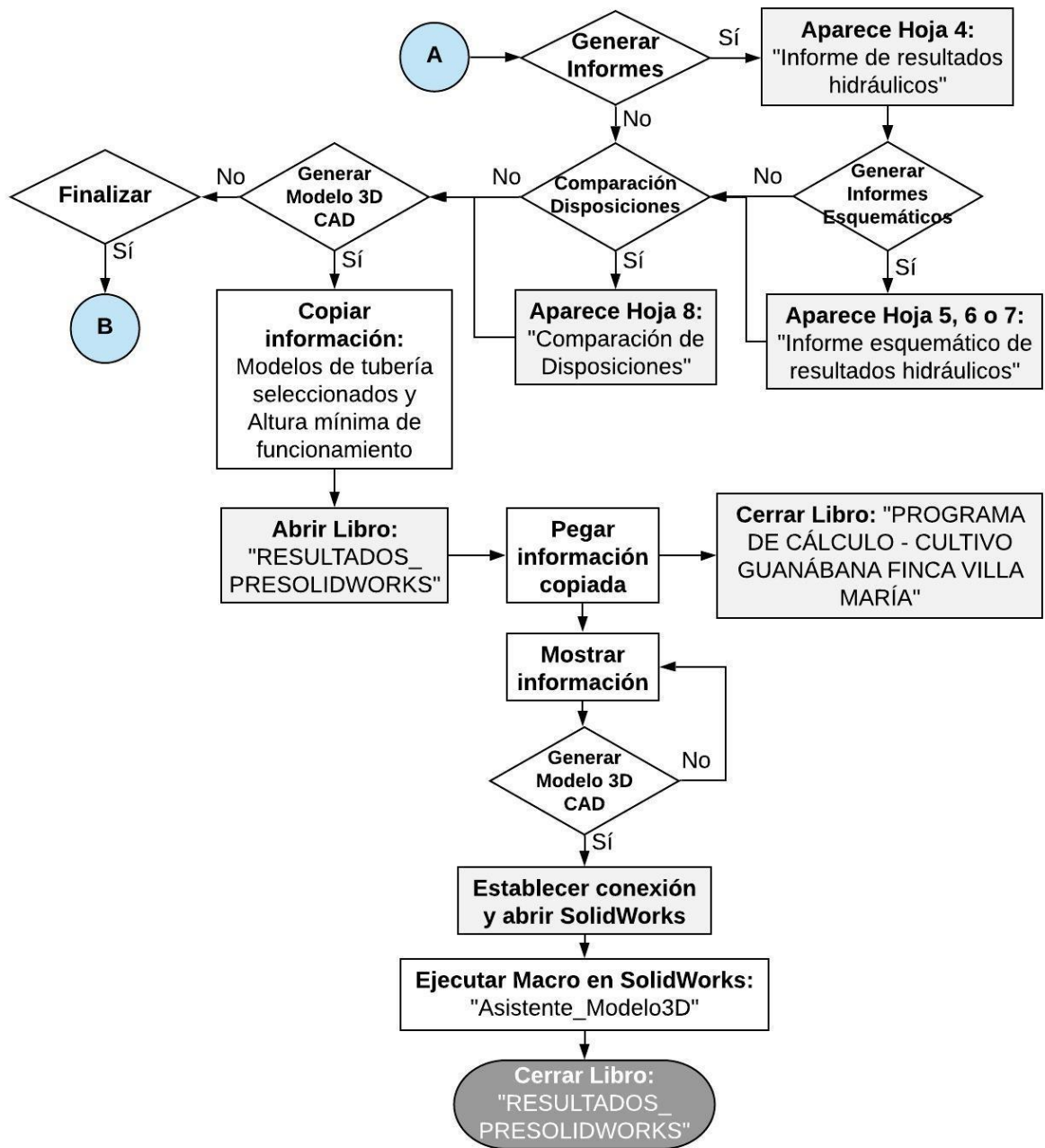


Figura 44. Diagrama de flujo de trabajo en la Hoja 2 Diseño hidráulico (Continuación).



En la Hoja 2 todos los procedimientos relacionados con el protocolo DDE se desarrollan siguiendo los mismos pasos por lo que se decide mostrar sólo uno en la Figura 45.

El código encargado de abrir y ejecutar la Macro de SolidWorks se encuentra en el libro RESULTADOS\_PRESOLIDWORKS asociado al botón "Generar Modelo 3D CAD" como se muestra en la Figura 46. El flujo de trabajo se encuentra ligado a la Hoja 2 (véase Figura 44).

Figura 45. Código VBA de cálculo Subunidad disposición de anillos.

```

Sub CHAnillosSubUnidad()

'Este procedimiento calcula la Subunidad del Diseño Hidráulico para la disposición de Anillos mediante E

'Declarar las variables necesarias para interactuar con EES:
Dim NumeroCanal As Integer
Dim RutaEES As String

'Declarar las variables para operar los rangos:
Dim Resultados As Range '---> Va a contener las celdas donde se van a pegar los resultados de EES.
Dim Celda As Range '---> Para ser usada en el For y permitir que se cambie el formato de celda.

'Establecer el valor por defecto a las variables de EES:
NumeroCanal = -1 '---> Valor inicial para más adelante comparar si se estableció correctamente el Can
RutaEES = "C:\CARPETA_CGUANABANA\newEES_portable\newEES_portable\EES.exe" '---> Ruta del ejecutabl

'Control de Errores: Instrucción específica.
On Error Resume Next '---> Ignora la línea del error y esa variable toma el valor por defecto, y sigu

'Copiar las celdas que contienen los datos de entrada para calcular en EES:
Worksheets(2).Range("AJ68:AX68").Select '---> Se selecciona.
Selection.Copy '---> Se copia la selección.

'Abrir EES: (Nota: La función Shell permite abrir un documento tipo OLE desde cualquier ubicación.)
Shell_R = Shell(RutaEES, 1) '---> El argumento '1' = La ventana tiene foco y se restauran su tamaño
'Si el programa se abre correctamente mediante Shell, la variable Shell_R guarda el valor del ID del pro
'Si el programa no se abre, la variable Shell_R guarda el 0 que devuelve Shell.

'Control de Errores: Sólo se ejecutan las Interacciones con EES si el programa se pudo abrir mediante Sh
If Shell_R <> "" Then '---> Si se logró ejecutar EES correctamente.

'Protocolo de DDE (Dynamic Data Exchange):
'[1. Inicialización]
'Abrir un Canal de Comunicación a EES y guardar el número de este Canal en la variable correspondiente:
NumeroCanal = Application.DDEInitiate(app:="ees", topic:="")

'Control de Errores:
'Si se logra abrir el Canal de comunicación correctamente, el valor por defecto -1 debe cambiar.
If NumeroCanal <> -1 Then '---> Si se creo el Canal correctamente.

    '[2. Interacción]
    '---> Instrucción: ENTER para seleccionar Continuar cuando abre el programa.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[ENTER]"
    '---> Instrucción: ABRIR el archivo EES.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Open C:\CARPETA_CGUANABANA\EES\21. DISEÑO HIDRÁULICO (ANILLOS)
    '---> Instrucción: PEGAR en la Tabla paramétrica 1 los valores copiados previamente.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Paste Parametric 'Table 1' R1 C1: R1 C15]"
    '---> Instrucción: SOLUCIONAR la Tabla paramétrica 1.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[SOLVETABLE 'TABLE 1' Rows=1..55]"
    '---> Instrucción: COPIAR los valores de la Fila 1 (R1) Columna 16 (C16) hasta la Fila 1 (R1) Column
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[COPY ParametricTable 'Table 1' R1 C16:R1 C55]"

    'Para cambiar el formato de los valores que viene de EES de números exp(Ejm:1E+01) a texto:
    'Establecer las celdas donde se van a pegar los resultados:
    Set Resultados = Worksheets(2).Range("AY68:CL68")
    Resultados.NumberFormat = "@" '---> Especificar que el formato de esas celdas sea tipo texto.

    '---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
    ActiveSheet.Paste Destination:=Worksheets(2).Range("AY68:CL68")

```

Figura 45. Código VBA de cálculo Subunidad disposición de anillos (Continuación).

```

'Para cambiar el formato de los valores de texto a números con cinco cifras decimales:
Resultados.NumberFormat = "General" '---> Establecer formato de celdas General.
'Ahora, se va a cambiar el formato de cada celda a tipo general a número con cinco cifras de
For Each Celda In Resultados '---> Para recorrer cada Celda especificada en la variable R
    Celda.Value = FormatNumber(CSng(Celda.Value), 8) '---> Establecer sólo cinco cifras dec
    Celda.Value = CSng(Celda.Value) '---> Establecer variable de tipo S
Next Celda

'---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
DDEExecute NumeroCanal, "[QUIT]"

'[3. Clausura]
Application.DDETerminate NumeroCanal '---> Finalizar/Cerrar el Canal de Comunicación DDE.

Else
MsgBox "No se puede iniciar la comunicación con el software EES." & vbCrLf & "Inténtelo nuevamente o
End If

Else '---> Si no se logró ejecutar EES.
MsgBox "No se pudo abrir el software EES." & vbCrLf & "Por favor, asegúrese de que la carpeta 'CARPE
End If

End Sub

```

Figura 46. Código VBA para abrir y ejecutar Macro “Asistente\_Modelo3D” en SolidWorks.

```

Private Sub CommandButton1_Click()

'[BOTÓN: GENERAR MODELO 3D CAD]

'Declarar las variables necesarias para interactuar con SolidWorks:
Dim swApp As SldWorks.SldWorks
Dim BooleanMacro As Boolean

'Establecer el valor de las variables:
Set swApp = CreateObject("SldWorks.Application.26") '---> Se abre una nueva instancia de SolidWorks.

'Instrucciones a SolidWorks:
swApp.Visible = True '---> La aplicación se ejecuta de forma visible.
'Mensaje de Bienvenida:
swApp.SendMessageToUser ";Bienvenido a SolidWorks! En breve se abrirá el asistente de Generación Modelo 3D"

'Ejecutar la Macro correspondiente en SolidWorks:
BooleanMacro = swApp.RunMacro("C:\CARPETA_CGUANABANA\SOLIDWORKS\Asistente_Modelo3D.swp", _
"Asistente_Modelo3D", "Inicio")

End Sub

```

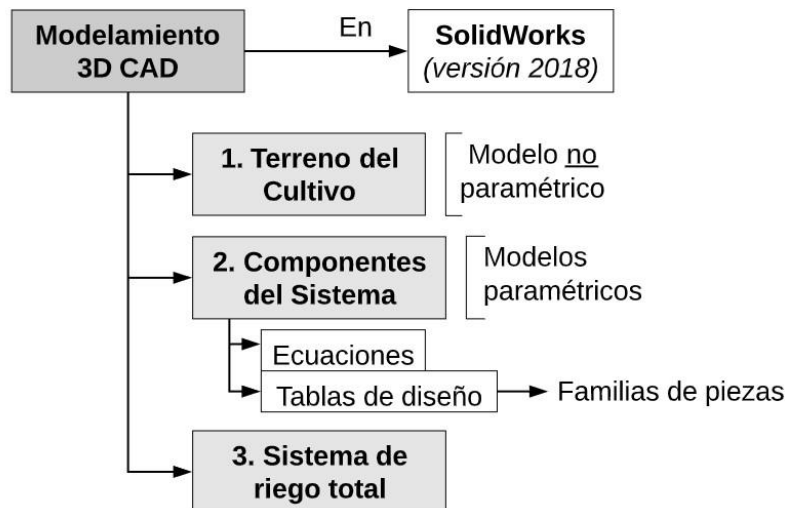
## 4.2 MODELAMIENTO 3D CAD EN SOLIDWORKS MEDIANTE TÉCNICAS DE DISEÑO PARAMÉTRICO

En esta sección, se va a llevar a cabo el modelamiento 3D CAD en SolidWorks del sistema de riego por goteo con disposición de anillos diseñado en el Capítulo 3.

Para modelar el sistema de riego total se debe abordar: el terreno donde se encuentra el cultivo de guanábana de la finca Villa María y cada uno de los componentes del sistema (tuberías, gotero, accesorios, filtro, válvulas y tanque de almacenamiento). El terreno del cultivo se mapea satelitalmente para obtener las curvas de nivel y modelarlo a partir de la información topográfica extraída.

Los componentes del sistema se modelan mediante tres técnicas de diseño paramétrico: ecuaciones, tablas de diseño y familias de piezas.

Figura 47. Esquema de los pasos para el Modelado 3D CAD del Sistema de riego.



**4.2.1 Fundamentos teóricos de los Modelos paramétricos.** En el proceso de modelado CAD convencional pueden presentarse diversas necesidades como definir una dimensión en función de otra, vincular varias dimensiones entre sí y

generar variantes de un mismo modelo. Para dar respuesta a estas necesidades se requieren los modelos paramétricos.

“Un modelo paramétrico es aquel cuyas dimensiones están definidas mediante parámetros (...) Un parámetro es una variable que define una dimensión y cuyos distintos valores dan lugar a distintas instancias en un modelo”<sup>102</sup>.

Figura 48. Proceso de Modelado CAD.



En la mayoría de los software CAD, como SolidWorks, existen dos alternativas principales para definir parámetros: ecuaciones y tablas de diseño.

#### 4.2.1.1 Ecuaciones.

Si se desea vincular una o diversas dimensiones (parámetros dependientes) a un valor general (parámetro independiente) se hace uso de ecuaciones. “Las ecuaciones son fórmulas matemáticas que reemplazan dinámicamente a los valores fijos”<sup>103</sup>.

En SolidWorks las ecuaciones se pueden crear, modificar, eliminar y asignar desde el cuadro de diálogo *Ecuaciones, variables globales y cotas* (véase Figura 50). En la parte superior izquierda de este cuadro, se muestran cuatro opciones de visualización para gestionar las ecuaciones:

- *Vista de ecuación.* Muestra la información agrupada en tres categorías: variables globales, operaciones y ecuaciones. Es la opción por defecto.
- *Vista de ecuación de croquis.* Muestra únicamente las ecuaciones del croquis activo.
- *Vista de cota.* Muestra todas las cotas, fijas o resultado de ecuaciones, presentes en el documento activo.

<sup>102</sup> COMPANY CALLEJA, Pedro y DORRIBO CAMBA, Jorge. CAD 3D con SolidWorks Tomo II: Diseño avanzado. [En línea] Universitat Jaume I, 2018, 1229 p. (Recuperado en: 25 de agosto de 2020). Disponible en: <https://issuu.com/universitatjaumei/docs/sapientia145a>

<sup>103</sup> Ibid.

Figura 49. Acceso al cuadro de diálogo *Ecuaciones, variables globales y cotas*.

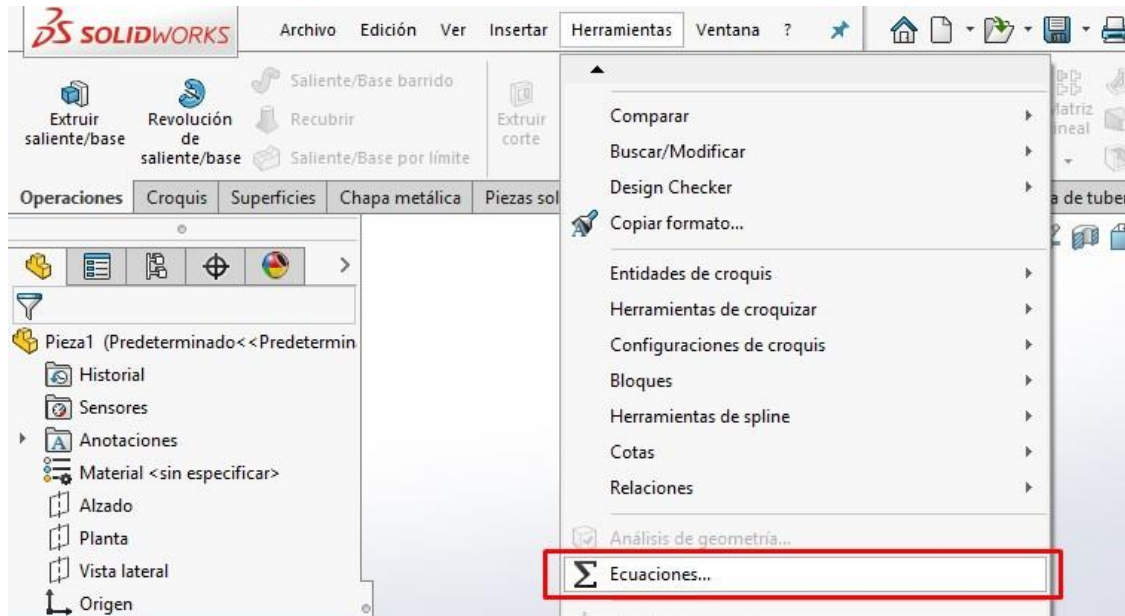
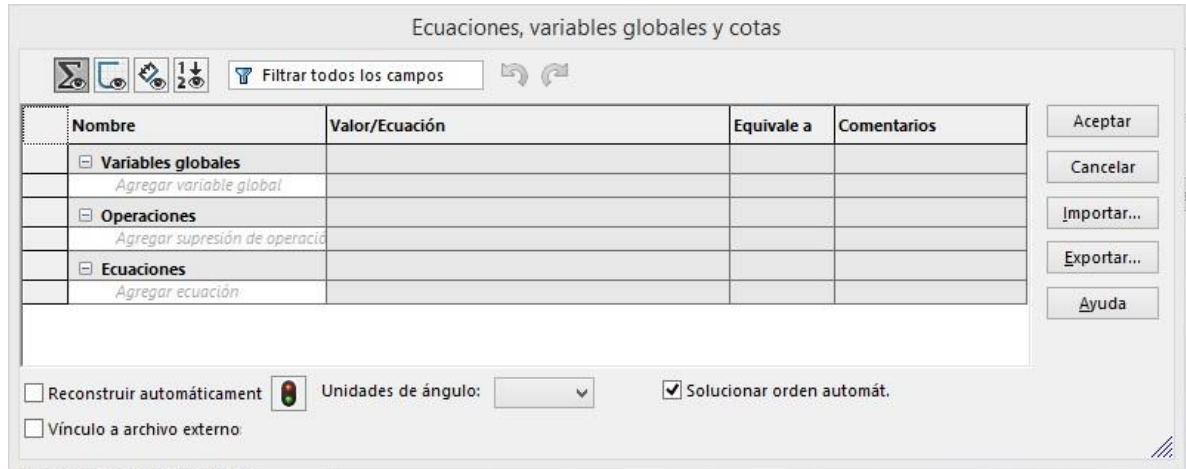


Figura 50. Cuadro de diálogo *Ecuaciones, variables globales y cotas*.



A continuación, se explican las tres categorías principales que se presentan en el cuadro de diálogo *Ecuaciones, variables y cotas*:

--- **Variables globales.** En *Variables globales* se permite crear una variable, a la que se le asigna nombre, que se puede usar para indicar el valor de una cota o en una ecuación.

Es preciso afirmar que las variables globales se comportan como parámetros independientes, debido a que su valor que se establece como fijo dentro de la configuración, puede variar y provocar cambios a todas las cotas que están definidas o vinculadas a partir de ésta (parámetros dependientes). La variable puede ser usada en todos los croquis y operaciones del documento activo.

La Figura 51 muestra las *variables globales* en el modelo de un gotero Aries™ de Netafim™. Como se puede observar, esta pieza se encuentra parametrizada en función del diámetro interno de la línea de riego en la que va insertado y las dimensiones de sus pasajes de agua. Las cotas definidas mediante ecuaciones están vinculadas directa o indirectamente a las variables globales establecidas.

Figura 51. Variables globales, operaciones y ecuaciones en modelo gotero Aries™ de Netafim™.

Ecuaciones, variables globales y cotas				
Nombre	Valor/Ecuación	Equivale a	Comentarios	
<b>Variables globales</b>				
"ID"	= "DI@Sección transversal"	11.8mm	Diámetro interior de la tubería	
"Anchura"	= "Anchura@Croquis2"	0.94mm	Anchura pasaje de agua	
"Longitud"	= "Longitud@Longitud gotero"	33mm	Longitud pasaje de agua	
"Profundidad"	= "Profundidad@Sección transversal"	1.28mm	Profundidad pasaje de agua	
<i>Agregar variable global</i>				
<b>Operaciones</b>				
"Redondeo5"	= IIF ("Anchura" < 0.75, "suppressed", "unsuppressed")	"unsuppress"		
"Redondeo6"	= IIF ("Anchura" < 0.75, "suppressed", "unsuppressed")	"unsuppress"		
<i>Agregar supresión de operación</i>				
<b>Ecuaciones</b>				
"AnchoGotero@Sección transve"	= IIF ("Anchura" < 0.8, 6, (( "Anchura" * 5 ) + ( "Anchura	6.58mm		
"AnchoAF@Sección transversal"	= "AnchoGotero@Sección transversal" * ( 2 / 3 )	4.39mm		
"D4@Sección transversal"	= IIF ( ( "Anchura" / 2 ) < 0.5, 0.5, ( "Anchura" / 2 ) )	0.5mm		
"D5@Sección transversal"	= "D4@Sección transversal" * 2	1mm		
"D1@Croquis2"	= "Anchura" * 2	1.88mm		
"D3@Croquis2"	= "Anchura" * 2	1.88mm		
"D4@Croquis2"	= ( "AnchoGotero@Sección transversal" - ( "Anchura" * 5 ) )	0.47mm		
"D6@Croquis2"	= ( "AnchoGotero@Sección transversal" - ( "Anchura" * 5 ) )	0.47mm		
"D2@Croquis2"	= ( "AnchoGotero@Sección transversal" - ( "Anchura" * 5 ) )	0.47mm		
"D7@Croquis2"	= "Longitud"	33mm		
"D8@Croquis2"	= "AnchoGotero@Sección transversal" / 2	3.29mm		
"D9@Croquis2"	= ( ( "AnchoGotero@Sección transversal" - ( "Anchura" * 5 ) )	0.94mm		
"D10@Croquis2"	= ( ( "AnchoGotero@Sección transversal" - ( "Anchura" * 5 ) )	0.94mm		

--- **Operaciones.** La categoría *Operaciones* admite la formulación de ecuaciones que suprimen de forma condicional una operación existente. Por ejemplo, para el gotero Aries™ (véase Figura 51) se establece un formato condicional en dos de sus operaciones de redondeo. La instrucción para el "Redondeo5" especifica que si la variable global

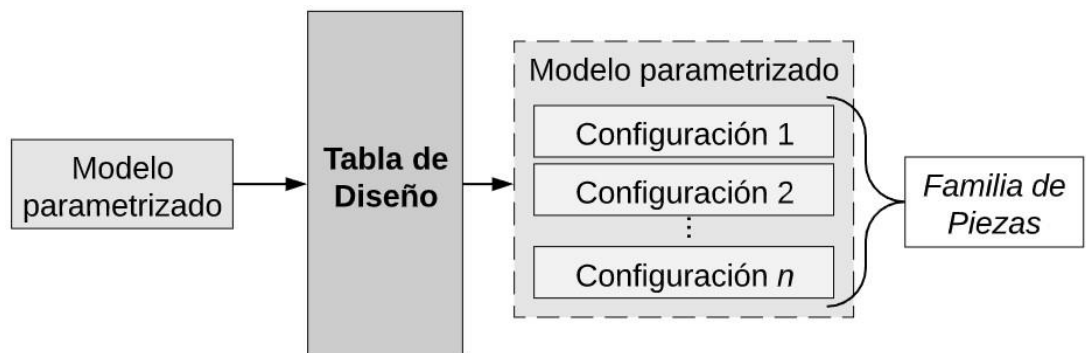
“Anchura” es menor a un valor de 0,75 [mm] entonces la operación de redondeo se va a suprimir; en caso contrario, se desactivará la supresión. Las opciones de supresión condicional de operaciones son muy útiles cuando se trabaja con varias instancias de un modelo y se desea dar instrucciones a configuraciones específicas.

--- **Ecuaciones.** En *Ecuaciones* se permite crear relaciones matemáticas entre dos o más cotas, definir valores de cotas mediante variables globales, propiedades de archivo, medidas específicas del modelo y funciones matemáticas, capturando la intención de diseño y enfoque de parametrización en el modelo. En esta parte, es importante recordar que SolidWorks soluciona las ecuaciones de forma secuencial, por lo que se debe mantener orden en las relaciones.

**4.2.1.2 Tablas de diseño.** Las *tablas de diseño* en SolidWorks “permiten crear múltiples configuraciones de un modelo a través de un archivo de Excel previamente creado o uno generado a partir de la geometría y características del modelo”<sup>104</sup>. Las configuraciones generadas a partir de tablas de diseño se denominan *Familia de piezas*.

Para crear una tabla de diseño se necesita un modelo previo parametrizado.

Figura 52. Esquema del proceso de creación de *Familia de piezas*.



Las tablas de diseño generalmente son usadas para cambiar los valores de las *variables globales* (véase Sección 4.2.1.1) automatizando el proceso de modelado a partir de la generación de configuraciones de un modelo parametrizado existente.

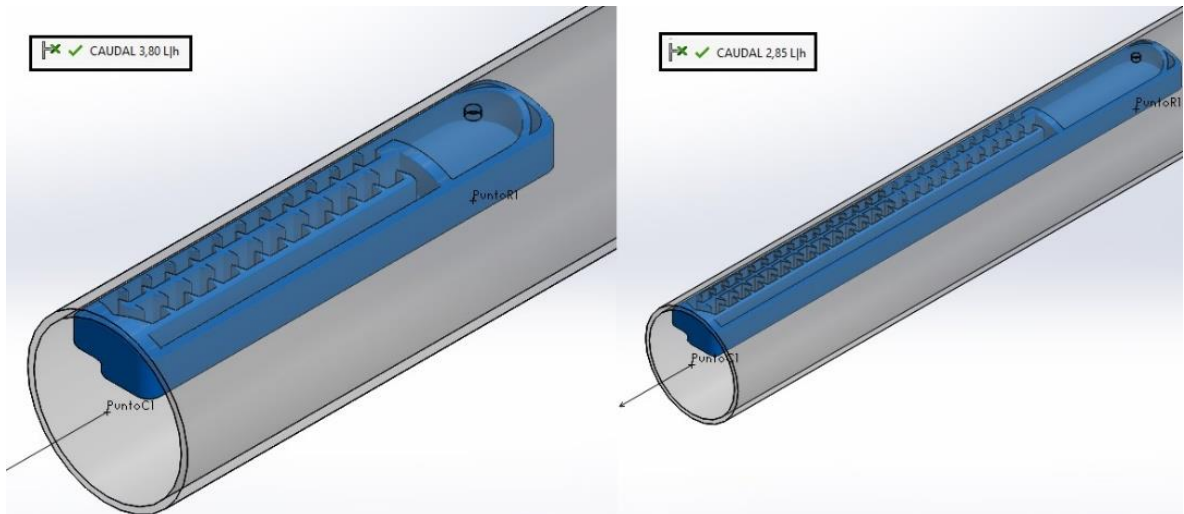
<sup>104</sup> CAD AVSHMEIP. Configuraciones mediante tablas de diseño “SolidWorks CAD”. [En línea]. En: Blog SolidWorks LATAM y España, 2019. (Recuperado en 25 de agosto de 2020). Disponible en: <https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/solidworks/tablas-de-diseno-solidworks-cad/>

Las Figura 53 y Figura 54 muestran la *tabla de diseño* de la pieza gotero Aries™ y la *Familia de piezas* creada a partir de los cambios en las variables globales del modelo, respectivamente.

Figura 53. *Tabla de diseño* gotero Aries™.

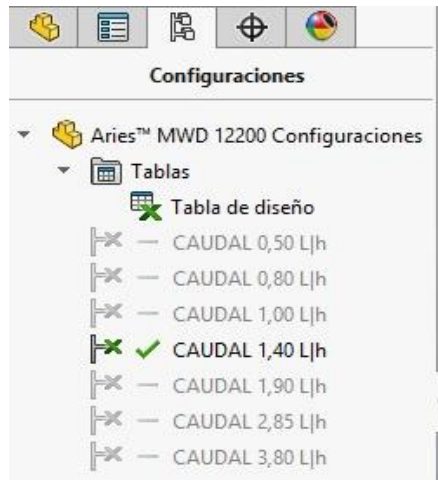
Tabla de diseño para: Aries™ MWD 12200								
	Profundidad@Sección transversal	Longitud@Longitud gotero	Anchura@Croquis2	\$Descripción	\$PRP@Tamaño nominal de la tubería	Diámetro@PuntoC1	Especificación@PuntoC1	Diámetro@PuntoC2
CAUDAL 0,50 L h	0,53	65	0,47	Gotero Aries™ MWD 12200 - PARED 0,5mm	12mm	12,8	0	12,8
CAUDAL 0,80 L h	0,69	65	0,54	Gotero Aries™ MWD 12200 - PARED 0,5mm	12mm	12,8	0	12,8
CAUDAL 1,00 L h	0,74	65	0,60	Gotero Aries™ MWD 12200 - PARED 0,5mm	12mm	12,8	0	12,8
CAUDAL 1,40 L h	0,85	65	0,71	Gotero Aries™ MWD 12200 - PARED 0,5mm	12mm	12,8	0	12,8
CAUDAL 1,90 L h	1,03	65	0,76	Gotero Aries™ MWD 12200 - PARED 0,5mm	12mm	12,8	0	12,8
CAUDAL 2,85 L h	1,20	65	0,90	Gotero Aries™ MWD 12200 - PARED 0,5mm	12mm	12,8	0	12,8
CAUDAL 3,80 L h	1,28	33	0,94	Gotero Aries™ MWD 12200 - PARED 0,5mm	12mm	12,8	0	12,8

Figura 54. Algunas configuraciones en la *Familia de piezas* del gotero Aries™.



El listado de configuraciones y la tabla de diseño se encuentran en el *Configuration Manager* (véase Figura 55).

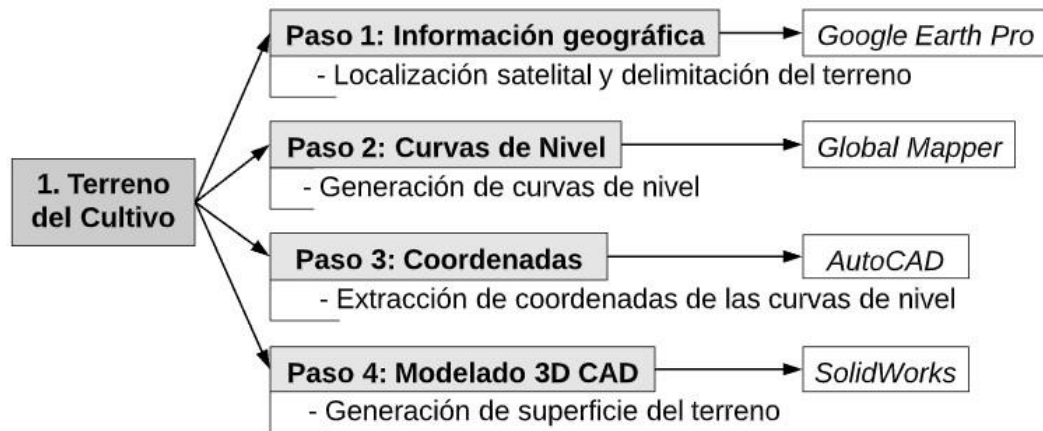
Figura 55. *Configuration Manager* del gotero Aries™.



**4.2.2 Terreno del cultivo.** El primer paso en el proceso de modelado 3D CAD del sistema de riego por goteo es el terreno del cultivo de guanábana.

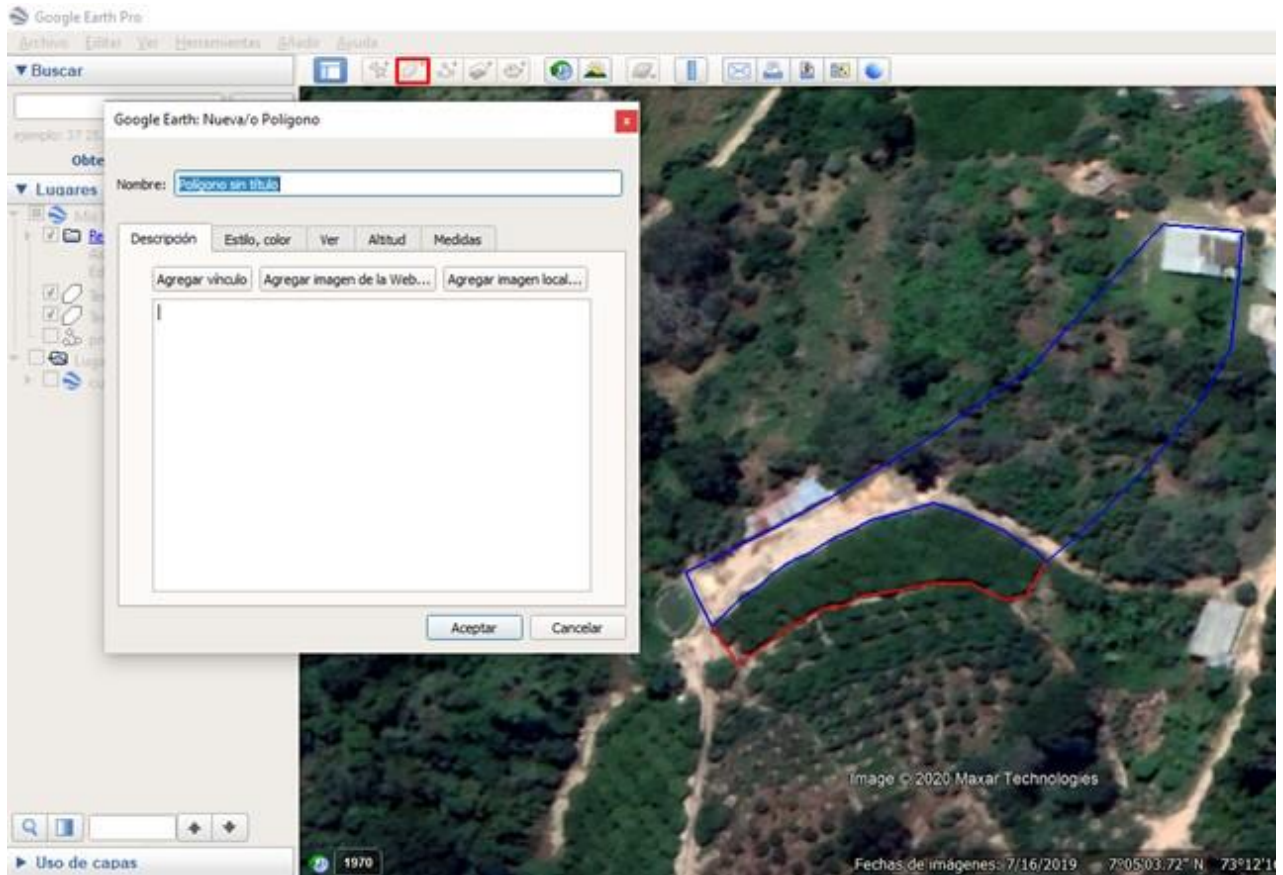
En el modelamiento del terreno va a ser necesario: localizar, delimitar y extraer la información geográfica mediante el software Google Earth Pro; tratar los datos extraídos para generar y guardar las curvas de nivel del terreno mediante el software Global Mapper; extraer y guardar todas las coordenadas de las curvas de nivel a partir del software AutoCAD; y finalmente, a partir de esta información generar la superficie del terreno en SolidWorks.

Figura 56. Pasos en el proceso de modelado - Terreno del cultivo.



**4.2.2.1 Paso 1: Información geográfica.** La localización del terreno se realiza a partir de las coordenadas geográficas de la finca Villa María ( $7^{\circ} 05' 05.18''$  N y  $73^{\circ} 12' 16.43''$  O) en el software Google Earth Pro. En seguida, se procede a delimitar el terreno del cultivo de guanábana y las zonas cercanas donde se prevé el posicionamiento del tanque de almacenamiento mediante la herramienta *Polígono* (véase Figura 57).

Figura 57. Información geográfica del terreno en Google Earth Pro.

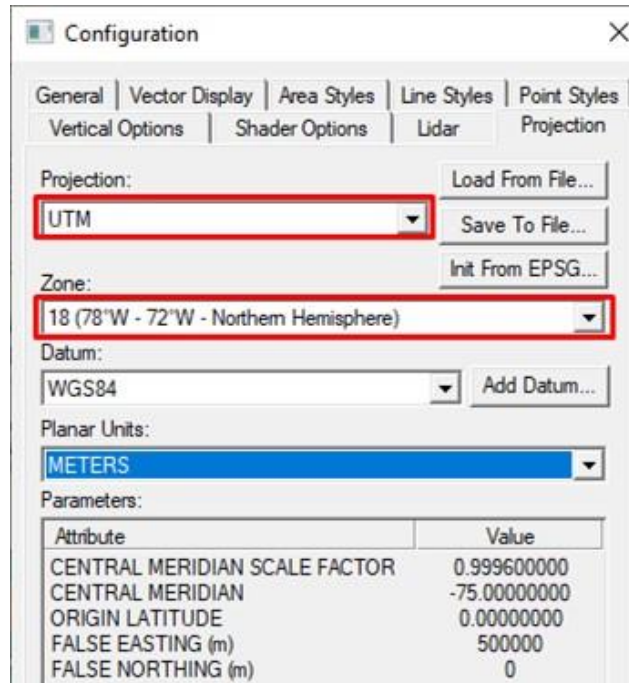


El polígono de color rojo delimita el terreno del cultivo de guanábana y el de color azul las zonas cercanas pensadas para el tanque de almacenamiento. Finalmente, los polígonos creados se deben guardar como un archivo con extensión *.kmz*.

**4.2.2.2 Paso 2: Curvas de nivel.** Con la información geográfica del terreno se procede a la generación de las curvas de nivel mediante el software Global Mapper, donde es posible procesar y analizar los datos geoespaciales guardados en el archivo con extensión *.kmz*.

Inicialmente, se debe configurar el sistema de coordenadas en el que se desea trabajar. Se decide usar el sistema UTM (Universal Transversal de Mercator) que, a diferencia de la proyección cartográfica convencional, divide el mapa mundial en cuadrantes para clasificar y ubicar de forma sencilla un lugar. Según la clasificación UTM, el municipio de Lebrija en el departamento de Santander se encuentra posicionado en las coordenadas 18 N (véase Figura 58).

Figura 58. Configuración inicial en Global Mapper.



Una vez configurada la aplicación, se procede a abrir el archivo con extensión *.kmz*. En este punto, es necesario descargar la información topográfica online disponible dentro de la aplicación para visualizar los planos correspondientes a la región de Lebrija haciendo uso de la opción *Download Online Data*. En el cuadro de diálogo se selecciona la fuente de datos en línea “ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data” para conectar y descargar (véase Figura 59).

La generación automática de las curvas de nivel se realiza con la herramienta *Generate Contours (from Terrain Grid)* localizada en la pestaña *Analysis*. La distancia entre curvas de nivel del terreno se define en un metro. Finalmente, los resultados se exportan en formato *.DWG*, extensión compatible para el software AutoCAD (véase Figura 60).

Este procedimiento de extracción de datos se debe ejecutar para los dos polígonos guardados.

Figura 59. Archivo .kmz cargado en Global Mapper.

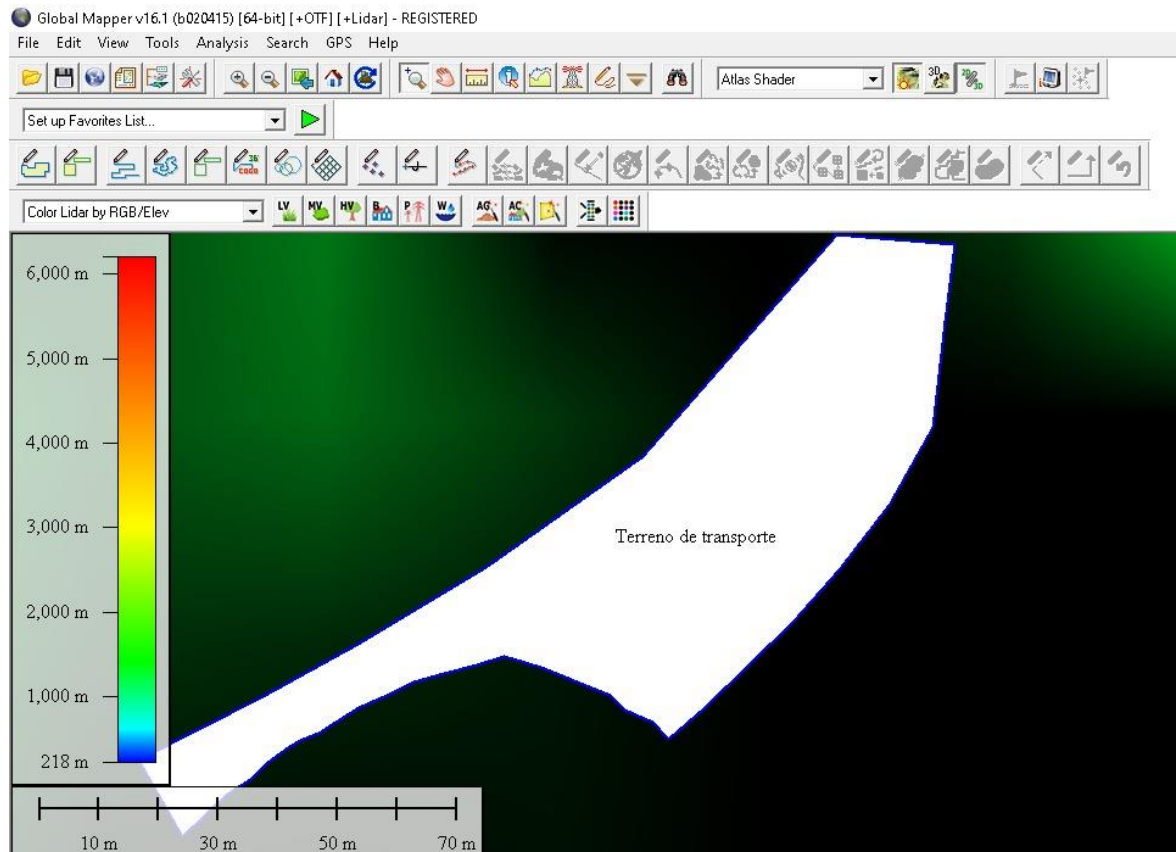


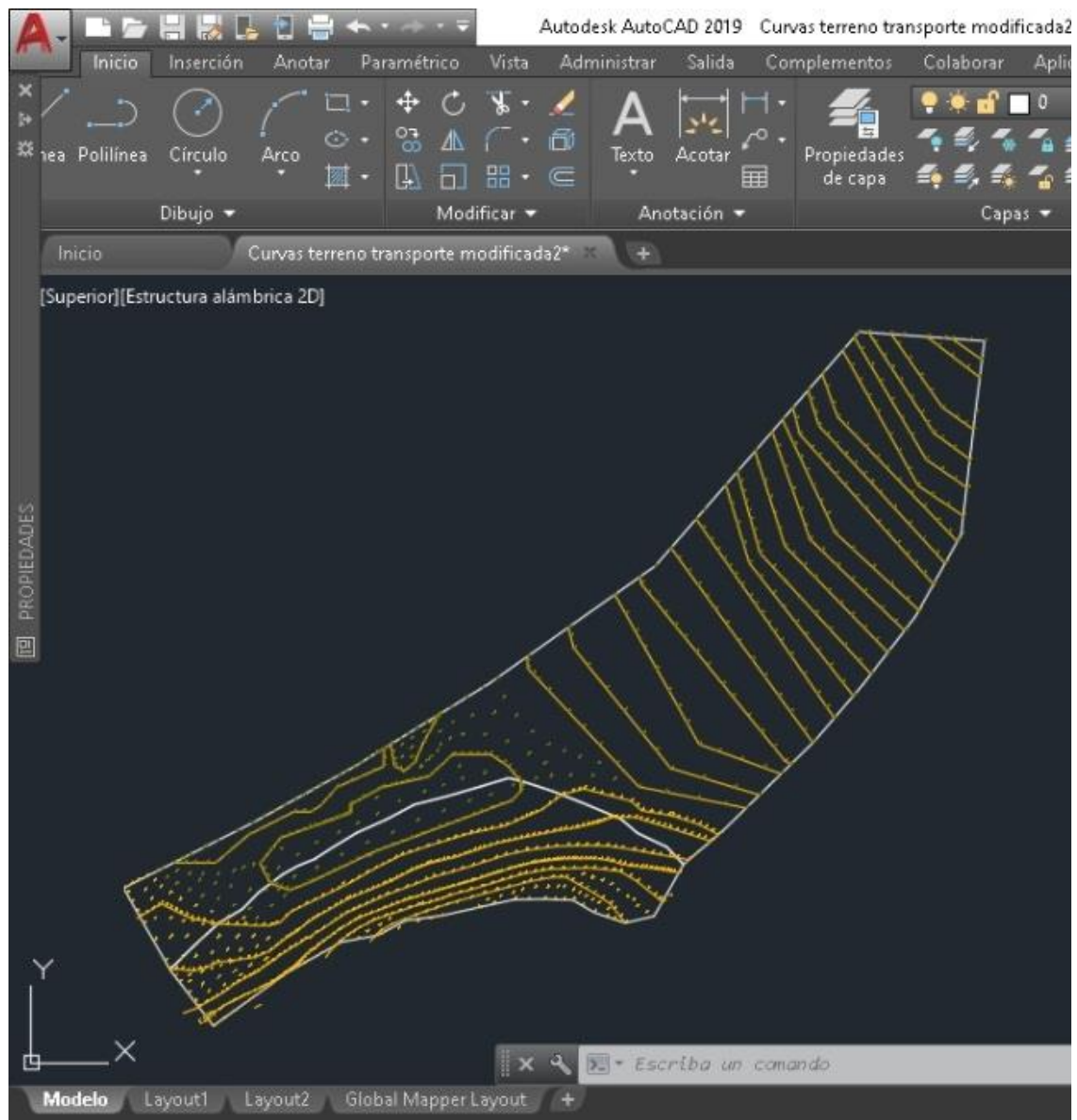
Figura 60. Exportar datos como formato .DWG en Global Mapper.



**4.2.2.3 Paso 3: Coordenadas.** En el software AutoCAD se van a extraer las coordenadas de los puntos pertenecientes a las curvas de nivel generadas y guardadas en formato *.DWG*.

El procedimiento de extracción de coordenadas se realiza mediante la herramienta *EXTRACDATA* y el resultado final es un documento de Excel con todos los valores X, Y, y Z de los puntos separados por columnas. En Excel se realiza un tratamiento de datos para convertir la información de las columnas en valores separados por comas que se van a guardar en un bloc de notas como archivo de extensión *.txt*.

Figura 61. Curvas de nivel en AutoCAD.

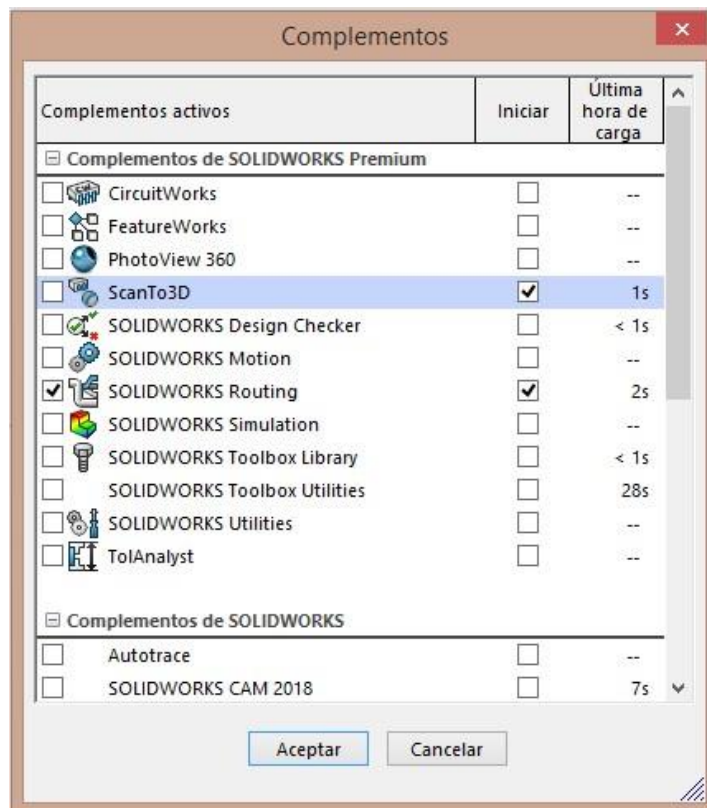


**4.2.2.4 Paso 4: Modelado 3D CAD.** La generación del modelo CAD del terreno se realiza a partir de las coordenadas X, Y, Z de los puntos sobre las curvas de nivel extraídas en el bloc de notas con extensión *.txt*, mediante el uso del complemento *ScanTo3D*.

El complemento *ScanTo3D* de SolidWorks permite abrir, preparar y convertir datos en una superficie o modelo sólido, facilitando la generación de mallas a partir de una nube de puntos.

Para activar el complemento se debe ir a la pestaña *Herramientas > Complementos*. En el cuadro de diálogo *Complementos* se va a iniciar *ScanTo3D* como se muestra en la Figura 62.

Figura 62. Cuadro de diálogo *Complementos* en SolidWorks.

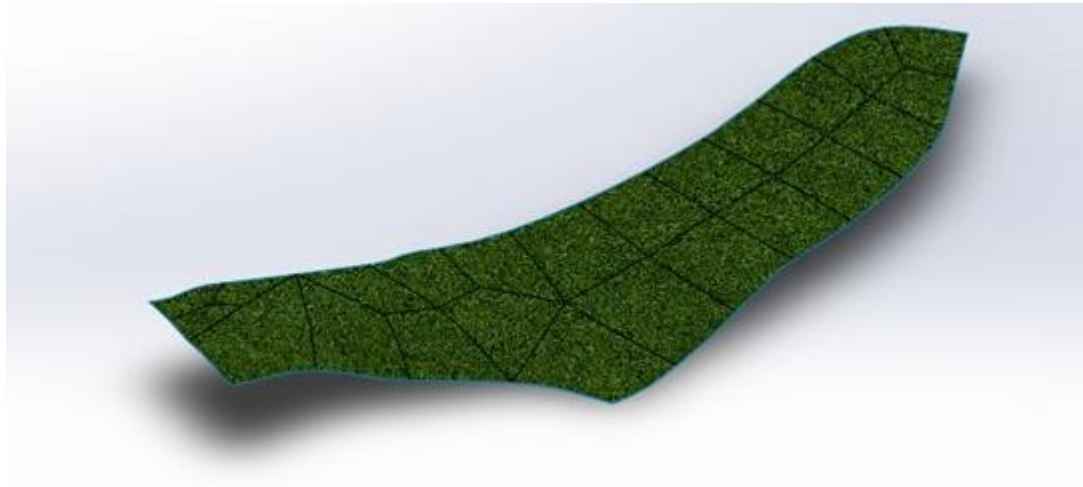


Con el complemento activo se procede a abrir las coordenadas contenidas en el bloc de notas. En la ventana explorador generada tras seleccionar *Abrir* se debe filtrar para cargar un archivo del tipo "Archivos ScanTo3D PointCloud". Las coordenadas, denominadas *nube de puntos*, ahora son visibles y es posible darles uso.

El siguiente paso es generar la superficie del terreno mediante la herramienta *Asistente de preparación de malla*. Primero, se inicia la herramienta y se selecciona la nube de puntos; seguidamente, va a ser necesario configurar las características de la malla como la alineación,

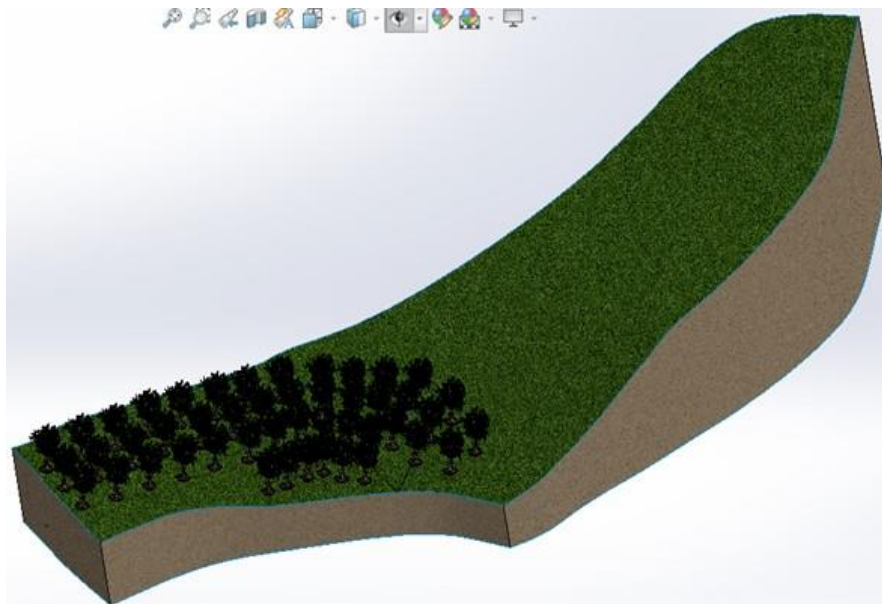
eliminación de ruido, reducción del tamaño y nivel de suavidad, para obtener el resultado deseado. Finalmente, se genera la superficie del terreno (véase Figura 63).

Figura 63. Superficie del terreno generada mediante *ScanTo3D* en SolidWorks.



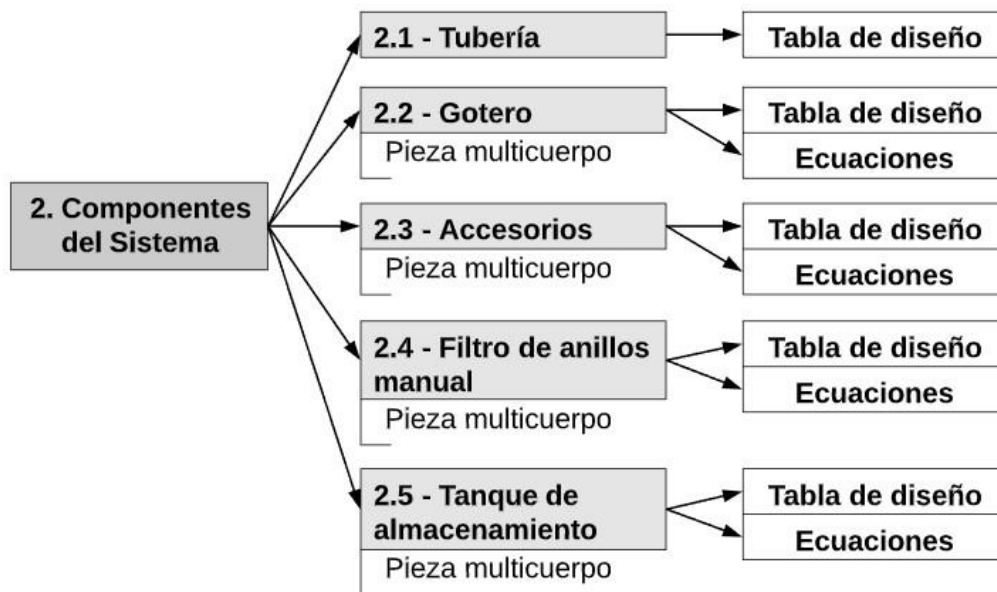
Con la superficie del terreno generada, se procede a modelar diferentes características para darle una apariencia real completa. Las herramientas *Extruir superficie* y *Rellenar superficie* permiten crear el terreno bajo la superficie; y, mediante modelos predefinidos de los árboles de guanábana insertados a la superficie en un ensamblaje se obtiene el modelo 3D CAD final del terreno.

Figura 64. Modelo 3D CAD del terreno de aplicación cultivo de guanábana.



**4.2.3 Componentes del sistema de riego por goteo.** El sistema de riego por goteo se modela a partir de sus componentes: tuberías, goteros, accesorios (conectores en T, codos, inicios de línea, reductores, tapones y válvulas), filtro y tanque de almacenamiento. A diferencia del terreno, los componentes del sistema son modelos paramétricos debido a las diferentes configuraciones que se pueden presentar dependiendo del diámetro nominal de tubería seleccionado. A continuación, se presentan los modelos 3D CAD de cada componente del sistema con sus respectivas ecuaciones, tablas de diseño y familia de piezas. Todos los elementos son productos Netafim™, a excepción del tanque de almacenamiento, según consideraciones realizadas en el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo para la disposición de anillos (véase Sección 3.2.3).

Figura 65. Técnicas de diseño paramétrico en Modelado 3D CAD de los componentes del sistema.



**4.2.3.1 Tubería PE estándar.** La información técnica relevante de las tuberías Netafim™ PE estándar (véase Tabla 23) presenta doce modelos comerciales agrupados en siete diámetros nominales que van desde 16 mm (5/8") hasta 63 mm (2-1/2"). En base a esta información, se realiza el modelado de un segmento de tubo a partir de las dimensiones: diámetro interno y

espesor de pared. Se hace uso de una tabla de diseño para generar la familia de piezas con las doce configuraciones correspondientes a los modelos de tuberías Netafim™ disponibles.

Figura 66. Familia de piezas y Modelo 3D CAD de tubería PE estándar.



Figura 67. Tabla de diseño de tubería PE estándar

Tabla de diseño para: Tuberías PE estándar						
	Diámetro interno@Croquis de tubería	Diámetro externo@Croquis de tubería	Diámetro nominal@Croquis de filtro	\$prp@Espesor de pared	\$Descripción	\$prp@Identificador de tubería
Modelo 16 4 - 16mm OD x 1,0mm WT	14,0	16	14,0	1,0	Tubería PE estándar modelo 16/4	Modelo 16/4
Modelo 20 4 - 20mm OD x 1,2mm WT	17,6	20	17,6	1,2	Tubería PE estándar modelo 20/4	Modelo 20/4
Modelo 25 4 - 25mm OD x 1,5mm WT	22,0	25	22,0	1,5	Tubería PE estándar modelo 25/4	Modelo 25/4
Modelo 32 4 - 32mm OD x 1,3mm WT	29,4	32	29,4	1,3	Tubería PE estándar modelo 32/4	Modelo 32/4
Modelo 32 4 SOFT - 32mm OD x 2,4mm WT	27,2	32	27,2	2,4	Tubería PE estándar modelo 32/4 SOFT	Modelo 32/4 SOFT
Modelo 40 4 - 40mm OD x 1,6mm WT	36,8	40	36,8	1,6	Tubería PE estándar modelo 40/4	Modelo 40/4
Modelo 40 4 SOFT - 40mm OD x 3,0mm WT	34,0	40	34,0	3,0	Tubería PE estándar modelo 40/4 SOFT	Modelo 40/4 SOFT
Modelo 40 5 - 40mm OD x 1,9mm WT	36,2	40	36,2	1,9	Tubería PE estándar modelo 40/5	Modelo 40/5
Modelo 50 4 - 50mm OD x 2,0mm WT	46,0	50	46,0	2,0	Tubería PE estándar modelo 50/4	Modelo 50/4
Modelo 50 5 - 50mm OD x 2,4mm WT	45,2	50	45,2	2,4	Tubería PE estándar modelo 50/5	Modelo 50/5
Modelo 63 4 - 63mm OD x 2,5mm WT	58,0	63	58,0	2,5	Tubería PE estándar modelo 63/4	Modelo 63/4
Modelo 63 6 - 63mm OD x 3,0mm WT	57,0	63	57,0	3,0	Tubería PE estándar modelo 63/6	Modelo 63/6

**4.2.3.2 Gotero PCJ.** A diferencia de los demás componentes del sistema de riego, los goteros Netafim™ PCJ se parametrizan en función de las dimensiones de pasaje de agua (anchura, longitud y profundidad) para cada caudal disponible. La información técnica empleada para el modelado 3D CAD del gotero PCJ se encuentra en el *Anexo B. Gotero PCJ – Extracto catálogo Netafim™*. Se hace uso de ecuaciones y tabla de diseño para generar la familia de piezas con las cinco configuraciones de gotero correspondientes a los caudales 1,2, 2, 3, 4 y 8 L/h.

Figura 68. Cuatro configuraciones en la Familia de piezas del Gotero PCJ.



El modelo 3D CAD del gotero PCJ fue creado a partir de múltiples sólidos. Este tipo de modelos se denominan *piezas multicuerpo* (véase Figura 69).

Figura 69. Múltiples sólidos en la *pieza multicuerpo* Gotero PCJ.

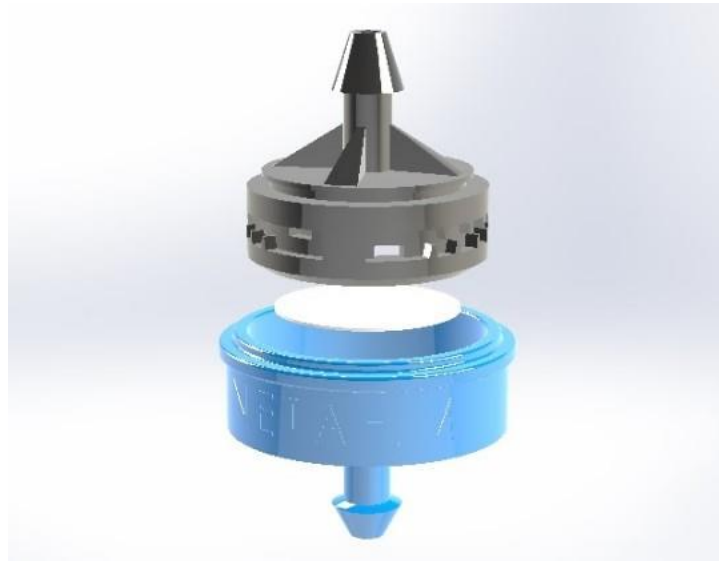


Figura 70. Ecuaciones en el Gotero PCJ

Ecuaciones, variables globales y cotas

Nombre	Valor/Ecuación	Equivale a	Comentarios
<b>Variables globales</b>			
"DiametroInterno"	= "DiametroInterno@Tuberia"	14mm	Diámetro interno de la tubería
"EspesorPared"	= "EspesorPared@Tuberia"	1mm	Espesor de la pared de la tubería
"DiametroExterno"	= "DiametroInterno" + ("EspesorPared" * 2)	16	Diámetro externo de la tubería
"LongitudGotero"	= "Lgotero@Gotero"	30mm	Longitud del gotero
"LCuerpoGotero"	= "LCuerpo@Gotero"	10mm	Longitud del cuerpo del gotero
"DiametroBarb"	= "RB2Medio@Gotero" * 2	4mm	Diámetro de la salida Barb del gotero
"DiametroSalidaGotero"	= "AnchoGotero@Gotero" - ("D1@Gotero" * 2)	20mm	Diámetro del sólido Salida Gotero
"AnchoParedAgua"	= "AnchoPA@Laberinto"	1.32mm	Ancho del pasaje de agua en el laberinto
"LongitudDisponible"	= "D22@Laberinto" + ("AnchoParedAgua" * (5 / 2))	15.8mm	
<i>Agregar variable global</i>			
<b>Operaciones</b>			
<i>Agregar supresión de operación</i>			
<b>Ecuaciones</b>			
"EP@Gotero"	= "EspesorPared"	1mm	
"Linicial@Gotero"	= "DiametroInterno" / 4	3.5mm	
"Lbarb@Gotero"	= "LongitudGotero" / 3	10mm	
"LCuerpo@Gotero"	= "LongitudGotero" / 3	10mm	
"DI@Gotero"	= "DiametroInterno"	14mm	
"RBInt@Gotero"	= "EspesorPared"	1mm	
"RBMedio@Gotero"	= "RBInt@Gotero" + "EspesorPared"	2mm	
"RBref@Gotero"	= "RBInt@Gotero" + ("EspesorPared" / 2)	1.5mm	
"RBEst@Gotero"	= "RBInt@Gotero" + ("EspesorPared" * 2)	3mm	
"LC1@Gotero"	= "LCuerpo@Gotero" / 4	2.5mm	

Reconstruir automáticamente    Unidades de ángulo:        Solucionar orden automat.

Vínculo a archivo externo:

Figura 71. Tabla de diseño del Gotero PCJ

Tabla de diseño para: PCJ Dripper - Manguera 16mm																		
	AnchoPA@Laberinto	\$Estado@EnvolverQ8	\$Estado@EnvolverQ1	\$Estado@EnvolverQ3yQ2	\$Estado@EnvolverQ4	D1@Envolver1	D1@Envolver2	D1@EnvolverQ1	D1@EnvolverQ4	D1@EnvolverQ8	AjusLongFin@PuntoC1	AjusLongFin@PuntoC2	LongRectMin@PuntoC1	LongRectMin@PuntoC2	Diámetro@PuntoC1	Diámetro@PuntoC2	Especificación@PuntoC1	Especificación@PuntoC2
CAUDAL 1,2 L   h	0,67	Sup	Supd	Sup	Sup	0,77	0,77	0,77	0,92	1,08	0	0	0	0	14	14	0	0
CAUDAL 2,0 L   h	0,98	Sup	Sup	Supd	Sup	0,79	0,79	0,77	0,92	1,08	0	0	0	0	14	14	1	1
CAUDAL 3,0 L   h	1,03	Sup	Sup	Supd	Sup	1,07	1,07	0,77	0,92	1,08	0	0	0	0	14	14	2	2
CAUDAL 4,0 L   h	1,32	Sup	Sup	Sup	Supd	0,92	0,92	0,77	0,92	1,08	0	0	0	0	14	14	3	3
CAUDAL 8,0 L   h	1,60	Supd	Sup	Sup	Sup	1,08	1,08	0,77	0,92	1,08	0	0	0	0	14	14	4	4

**4.2.3.3 Accesorios.** Los accesorios en el sistema de riego por goteo son: conectores en T, codos, inicios de línea, reductores, tapones y válvulas. Estos modelos, al igual que el gotero PCJ, son *piezas multicuerpo*. Los modelos 3D CAD de los accesorios están parametrizados en función del diámetro nominal de las tuberías Netafim™ PE estándar. Se hace uso de ecuaciones y tablas de diseño para generar el número de configuraciones necesario en las familias de piezas, según sea el caso. A continuación, se presentan cada uno de los accesorios:

--- **Conectores en T.** Los conectores Netafim™ en T disponibles para las tuberías de pared gruesa son los denominados *T barb*.

Figura 72. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Conector en T.

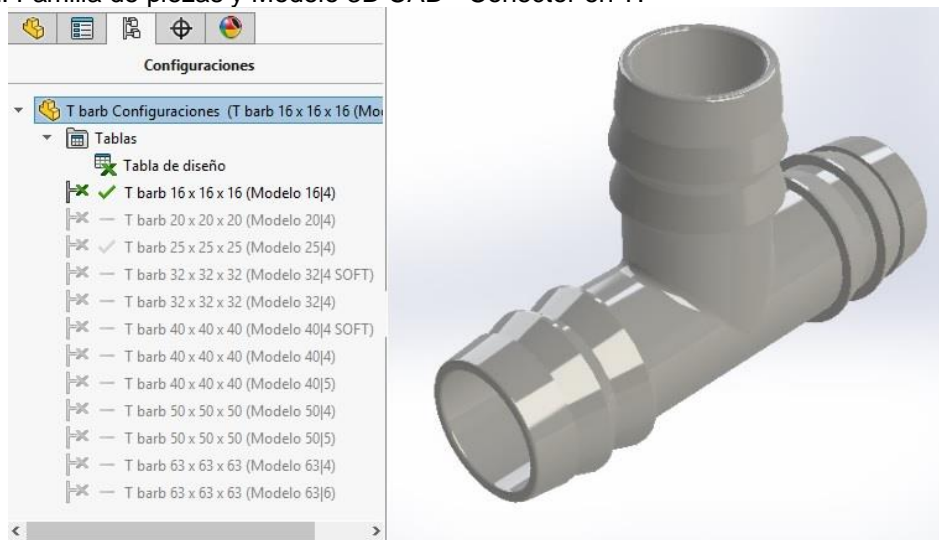


Figura 73. Ecuaciones - Conector en T.

Ecuaciones, variables globales y cotas

Nombre	Valor/Ecuación	Equivale a	Comentarios
<b>Variables globales</b>			
"Diámetro interno"	= "DiámetroInterno@Croquis6"	14mm	Diámetro interno de la tubería
"Espesor pared"	= "Espesor pared@Croquis6"	1mm	Espesor de pared de la tubería
"Diámetro externo"	= "Diámetro interno" + ( "Espesor pared" * 2 )	16mm	Diámetro externo de la tubería
<i>Agregar variable global</i>			
<b>Operaciones</b>			
"Redondeo1"	= IIF ( "Espesor pared" < 1.5, "suppressed", "unsuppressed"	"suppressed"	
<i>Agregar supresión de operación</i>			
<b>Ecuaciones</b>			
"RadioReferencia@Croquis1"	= "RadioMedio@Croquis1" + ( "RadioExterno@Croquis1"	6.5mm	
"L1B2@Croquis1"	= "L1B1@Croquis1"	3.82mm	
"L2B2@Croquis1"	= "L2B1@Croquis1"	2.86mm	
"L3B2@Croquis1"	= "L3B1@Croquis1"	1.59mm	
"L4B2@Croquis1"	= "L4B1@Croquis1"	2.86mm	
"RadioExterno@Croquis1"	= "Diámetro interno" / 2	7mm	
"RadioMedio@Croquis1"	= ( "Diámetro interno" - ( "Espesor pared" * 2 ) ) / 2	6mm	
"Radiointerno@Croquis1"	= ( "Diámetro interno" - ( "Espesor pared" * 4 ) ) / 2	5mm	
"LongitudAccesorio@Croquis1"	= ( "Diámetro externo" * 2 ) + "Diámetro interno"	46mm	
"LongitudBrazo1@Croquis1"	= "Diámetro externo"	16mm	
"LongitudBrazo2@Croquis1"	= "Diámetro externo"	16mm	
"L1B1@Croquis1"	= "Diámetro interno" * ( 3 / 11 )	3.82mm	
"L2B1@Croquis1"	= "Diámetro interno" * ( 9 / 44 )	2.86mm	
"L3B1@Croquis1"	= "Diámetro interno" * ( 5 / 44 )	1.59mm	
"L4B1@Croquis1"	= "L3B1@Croquis1"	1.59mm	

Reconstruir automáticamente

Unidades de ángulo:

Solucionar orden automat.

Vínculo a archivo externo.

Figura 74. Tabla de diseño - Conector en T.

Tabla de diseño para: T barb

	DiámetroInterno@Croquis6	Espesor pared@Croquis6	\$Descripción	Diámetro@PuntoC1	Diámetro@PuntoC2	Diámetro@PuntoC3	Especificación@PuntoC1	Especificación@PuntoC2	Especificación@PuntoC3	\$PRP@Tamaño nominal de la tubería	AjusLongFin@PuntoC1	AjusLongFin@PuntoC2	AjusLongFin@PuntoC3	LongRectMin@PuntoC1	LongRectMin@PuntoC2	LongRectMin@PuntoC3
<b>T barb 16 x 16 x 16 (Modelo 16 4)</b>	14,0	1,0	T barb para unir tubería PE estándar 16/4	14,0	14,0	14,0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0
<b>T barb 20 x 20 x 20 (Modelo 20 4)</b>	17,6	1,2	T barb para unir tubería PE estándar 20/4	17,6	17,6	17,6	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
<b>T barb 25 x 25 x 25 (Modelo 25 4)</b>	22,0	1,5	T barb para unir tubería PE estándar 25/4	22,0	22,0	22,0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
<b>T barb 32 x 32 x 32 (Modelo 32 4)</b>	29,4	1,3	T barb para unir tubería PE estándar 32/4	29,4	29,4	29,4	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0
<b>T barb 32 x 32 x 32 (Modelo 32 4 SOFT)</b>	27,2	2,4	T barb para unir tubería PE estándar 32/4 SO	27,2	27,2	27,2	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0
<b>T barb 40 x 40 x 40 (Modelo 40 4)</b>	36,8	1,6	T barb para unir tubería PE estándar 40/4	36,8	36,8	36,8	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0
<b>T barb 40 x 40 x 40 (Modelo 40 4 SOFT)</b>	34,0	3,0	T barb para unir tubería PE estándar 40/4 SO	34,0	34,0	34,0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0
<b>T barb 40 x 40 x 40 (Modelo 40 5)</b>	36,2	1,9	T barb para unir tubería PE estándar 40/5	36,2	36,2	36,2	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0
<b>T barb 50 x 50 x 50 (Modelo 50 4)</b>	46,0	2,0	T barb para unir tubería PE estándar 50/4	46,0	46,0	46,0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
<b>T barb 50 x 50 x 50 (Modelo 50 5)</b>	45,2	2,4	T barb para unir tubería PE estándar 50/5	45,2	45,2	45,2	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
<b>T barb 63 x 63 x 63 (Modelo 63 4)</b>	58,0	2,5	T barb para unir tubería PE estándar 63/4	58,0	58,0	58,0	0	0	0	63	0	0	0	0	0	0
<b>T barb 63 x 63 x 63 (Modelo 63 6)</b>	57,0	3,0	T barb para unir tubería PE estándar 63/5	57,0	57,0	57,0	0	0	0	63	0	0	0	0	0	0

--- **Codos.** Los codos Netafim™ disponibles para las tuberías de pared gruesa son los denominados *Codo barb*.

Figura 75. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Codo.

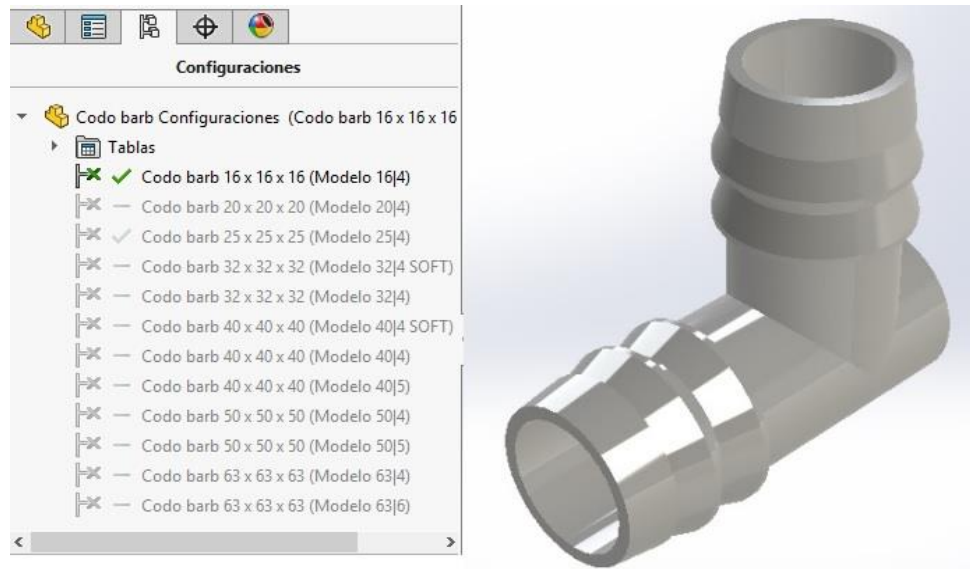


Figura 76. Ecuaciones - Codo.

Ecuaciones, variables globales y cotas

Filtrar todos los campos

Codo barb 16 x 16 x 16 (l)

Nombre	Valor/Ecuación	Equivalencia	Comentarios
<b>Variables globales</b>			
"Diámetro interno"	= "DiámetroInterno@Croquis6"	14mm	Diámetro interno de la tubería
"Espesor pared"	= "Espesor pared@Croquis6"	1mm	Espesor de pared de la tubería
"Diámetro externo"	= "Diámetro interno" + ("Espesor pared" * 2)	16mm	Diámetro externo de la tubería
<i>Agregar variable global</i>			
<b>Operaciones</b>			
"Redondeo1"	= IIF ("Espesor pared" < 1.5, "suppressed", "unsuppressed")	"suppressed"	
<i>Agregar supresión de operación</i>			
<b>Ecuaciones</b>			
"RadioReferencia@Croquis1"	= "RadioMedio@Croquis1" + ("RadioExterno@Croquis1"	6.5mm	
"L1B2@Croquis1"	= "L1B1@Croquis1"	3.82mm	
"L2B2@Croquis1"	= "L2B1@Croquis1"	2.86mm	
"L3B2@Croquis1"	= "L3B1@Croquis1"	1.59mm	
"L4B2@Croquis1"	= "L4B1@Croquis1"	2.86mm	
"RadioExterno@Croquis1"	= "Diámetro interno" / 2	7mm	
"RadioMedio@Croquis1"	= ("Diámetro interno" - ("Espesor pared" * 2)) / 2	6mm	
"RadioInterno@Croquis1"	= ("Diámetro interno" - ("Espesor pared" * 4)) / 2	5mm	
"LongitudAccesorio@Croquis1"	= ("Diámetro externo" * 2) + "Diámetro interno"	46mm	
"LongitudBrazo1@Croquis1"	= "Diámetro externo"	16mm	
"LongitudBrazo2@Croquis1"	= "Diámetro externo"	16mm	
"L1B1@Croquis1"	= "Diámetro interno" * (3 / 11)	3.82mm	
"L2B1@Croquis1"	= "Diámetro interno" * (9 / 44)	2.86mm	
"L3B1@Croquis1"	= "Diámetro interno" * (5 / 44)	1.59mm	
"L4B1@Croquis1"	= "L3B1@Croquis1"	1.59mm	

Reconstruir automáticamente    Unidades de ángulo:        Solucionar orden automat.

Vínculo a archivo externo

Aceptar    Cancelar    Importar...    Exportar...    Ayuda

Figura 77. Tabla de diseño – Codo.

Tabla de diseño para: Codo barb											
	Diámetro Interno@Croquis6	Espesor pared@Croquis6	Descripción	AjusLongFin@PuntoC1	AjusLongFin@PuntoC2	Diámetro@PuntoC1	Diámetro@PuntoC2	LongRectMin@PuntoC1	LongRectMin@PuntoC2	Especificación@PuntoC1	Especificación@PuntoC2
Codo barb 16 x 16 x 16 (Modelo 16 4)	14,0	1,0	Codo barb para unir tubería PE estándar 16/4	0	0	14,0	14,0	0	0	0	0
Codo barb 20 x 20 x 20 (Modelo 20 4)	17,6	1,2	Codo barb para unir tubería PE estándar 20/4	0	0	17,6	17,6	0	0	0	0
Codo barb 25 x 25 x 25 (Modelo 25 4)	22,0	1,5	Codo barb para unir tubería PE estándar 25/4	0	0	22,0	22,0	0	0	0	0
Codo barb 32 x 32 x 32 (Modelo 32 4)	29,4	1,3	Codo barb para unir tubería PE estándar 32/4	0	0	29,4	29,4	0	0	0	0
Codo barb 32 x 32 x 32 (Modelo 32 4 SOF)	27,2	2,4	Codo barb para unir tubería PE estándar 32/4	0	0	27,2	27,2	0	0	0	0
Codo barb 40 x 40 x 40 (Modelo 40 4)	36,8	1,6	Codo barb para unir tubería PE estándar 40/4	0	0	36,8	36,8	0	0	0	0
Codo barb 40 x 40 x 40 (Modelo 40 4 SOF)	34,0	3,0	Codo barb para unir tubería PE estándar 40/4	0	0	34,0	34,0	0	0	0	0
Codo barb 40 x 40 x 40 (Modelo 40 5)	36,2	1,9	Codo barb para unir tubería PE estándar 40/5	0	0	36,2	36,2	0	0	0	0
Codo barb 50 x 50 x 50 (Modelo 50 4)	46,0	2,0	Codo barb para unir tubería PE estándar 50/4	0	0	46,0	46,0	0	0	0	0
Codo barb 50 x 50 x 50 (Modelo 50 5)	45,2	2,4	Codo barb para unir tubería PE estándar 50/5	0	0	45,2	45,2	0	0	0	0
Codo barb 63 x 63 x 63 (Modelo 63 4)	58,0	2,5	Codo barb para unir tubería PE estándar 63/4	0	0	58,0	58,0	0	0	0	0
Codo barb 63 x 63 x 63 (Modelo 63 6)	57,0	3,0	Codo barb para unir tubería PE estándar 63/5	0	0	57,0	57,0	0	0	0	0

--- **Válvula.** El modelo 3D CAD de la válvula mostrado en la Figura 78 presenta las características visuales externas de la válvula Netafim™ de cierre manual PVC. Debido a la amplia oferta y tipos de válvulas de control de caudal y presión en el mercado nacional, se realiza una aproximación empírica del estado completamente abierto de la válvula.

Adicionalmente, se insertan adaptadores MTH x barb para realizar correctamente el ensamble en el sistema de riego total. Se crearon configuraciones de la válvula para diámetros nominales desde 1" hasta 2-1/2", cada una con tres opciones: doble adaptador, único adaptador y sin adaptador.

Figura 78. Configuración sin adaptador, único y doble adaptador - Válvula.

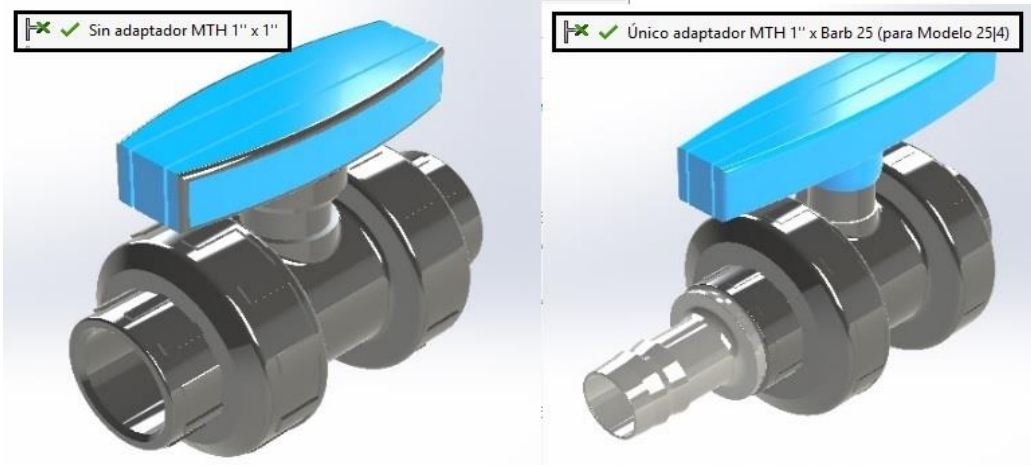


Figura 78. Configuración sin adaptador, único y doble adaptador – Válvula (Continuación).

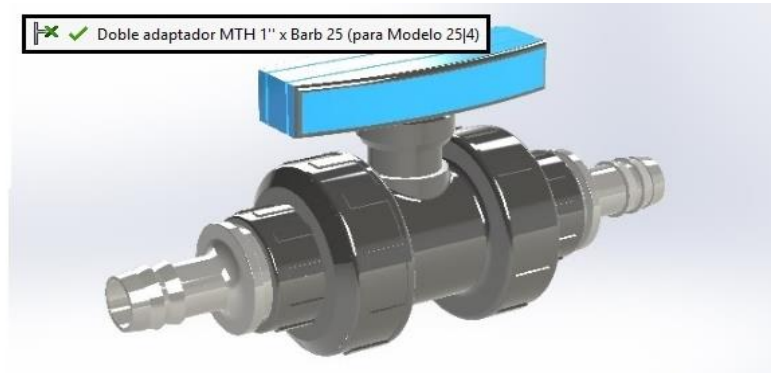


Figura 79. Ecuaciones – Válvula.

Ecuaciones, variables globales y cotas

Nombre	Valor/Ecuación	Equivale a	Comentarios
<b>Variables globales</b>			
"d_menor"	= "d_menor@Válvula1"	32mm	
"D_mayor"	= "D_mayor@Válvula1"	68mm	
"D_nominal"	= "D_nominal@Válvula1"	25mm	
"H"	= "H@Válvula1"	68mm	
"L"	= "L@Válvula2"	123mm	
"L2"	= "L2@Válvula2"	71mm	
"L4"	= "L4@Válvula1"	25mm	
"L1"	= "L1@Válvula1"	97mm	
"DiámetroInterno1"	= "DiámetroInterno1@Tubería1"	22mm	Diámetro interno de la tubería
"EspesorPared1"	= "EspesorPared1@Tubería1"	1.5mm	
"DiámetroExterno1"	= "DiámetroInterno1" + ("EspesorPared1" * 2)	25	
<i>Agregar variable global</i>			
<b>Operaciones</b>			
<i>Agregar supresión de operación</i>			
<b>Ecuaciones</b>			
"R_nominal@Válvula2"	= "D_nominal" / 2	12.5mm	
"r_menor@Válvula2"	= "d_menor" / 2	16mm	
"R_mayor@Válvula2"	= "D_mayor" / 2	34mm	
"L3ref@Válvula2"	= "L3@Válvula2" / 2	4.33mm	
"L3@Válvula2"	= (("L" - "L2") / 2) * (1 / 3)	8.67mm	
"L4@Válvula2"	= "L3@Válvula2"	8.67mm	
"L4ref@Válvula2"	= "L4@Válvula2" / 2	4.33mm	
"L5@Válvula2"	= "L3@Válvula2" * (2 / 3)	5.78mm	

Reconstruir automáticamente  Unidades de ángulo: °  Solucionar orden automat.

Vínculo a archivo externo

Los valores de las *variables generales* que no están relacionados con el diámetro interno de la tubería Netafim™ a la que va ensamblada la válvula, corresponden a datos de dimensión extraídos de la empresa GF Piping Systems<sup>105</sup>.

<sup>105</sup> GFPipingSystems. Ball valve type 546. [En línea]. (Recuperado: 27 agosto de 2020). Disponible: [https://www.gfps.com/appgate/ecat/common\\_flow/10001L/NL/nl/11085/download/document.html](https://www.gfps.com/appgate/ecat/common_flow/10001L/NL/nl/11085/download/document.html)

Figura 80. Tabla de diseño - Válvula.

Tabla de diseño para: Válvula de Bola (Tipo MTH x MTH)																			
	d_menor@Válvula1	D_mayor@Válvula1	D_nominal@Válvula1	H@Válvula1	L4@Válvula1	L1@Válvula1	L@Válvula2	L2@Válvula2	Diámetro interno1@Tubería1	EsesorPared@Tubería1	Longitud de terminal@PuntoC1	Diámetro@PuntoC1	Longitud de terminal@PuntoC2	Diámetro@PuntoC2	Especificación@PuntoC	Especificación@PuntoC	Diameter	AjusLongFin@PuntoC1	AjusLongFin@PuntoC2
Doble adaptador MTH 1" x Barb 25 (para Modelo 25 4)	32	68	25	68	25	97	123	71	22,0	1,5	37,5	22,0	37,5	22,0	1	1	25	0	0
Doble adaptador MTH 1-1 4" x Barb 32 (para Modelo 32 4)	40	84	32	84	30	128	146	85	29,4	1,3	48	29,4	48	29,4	1	1	32	0	0
Doble adaptador MTH 1-1 4" x Barb 32-S (para Modelo 32 4)	40	84	32	84	30	128	146	85	27,2	2,4	48	27,2	48	27,2	1	1	32	0	0
Doble adaptador MTH 1-1 2" x Barb 40 (para Modelo 40 4)	50	97	40	97	32	128	157	89	36,8	1,6	60	36,8	60	36,8	1	1	40	0	0
Doble adaptador MTH 1-1 2" x Barb 40-S (para Modelo 40 4)	50	97	40	97	32	128	157	89	34,0	3,0	60	34	60	34	1	1	40	0	0
Doble adaptador MTH 1-1 2" x Barb 40,5 (para Modelo 40 5)	50	97	40	97	32	128	157	89	36,2	1,9	60	36,2	60	36,2	1	1	40	0	0
Doble adaptador MTH 2" x Barb 50 (para Modelo 50 4)	63	124	50	124	37	152	183	101	46,0	2,0	75	46	75	46	1	1	50	0	0
Doble adaptador MTH 2" x Barb 50,5 (para Modelo 50 5)	63	124	50	124	37	152	183	101	45,2	2,4	75	45,2	75	45,2	1	1	50	0	0
Doble adaptador MTH 2-1 2" x Barb 63 (para Modelo 63 4)	75	166	63	166	47	270	233	136	58,0	2,5	94,5	58	94,5	58	1	1	63	0	0
Doble adaptador MTH 2-1 2" x Barb 63,6 (para Modelo 63 6)	75	166	63	166	47	270	233	136	57,0	3,0	94,5	57	94,5	57	1	1	63	0	0
Único adaptador MTH 1" x Barb 25 (para Modelo 25 4)	32	68	25	68	25	97	123	71	22,0	1,5	37,5	22	37,5	22	2	2	25	0	36
Único adaptador MTH 1-1 4" x Barb 32 (para Modelo 32 4)	40	84	32	84	30	128	146	85	29,4	1,3	48	29,4	48	29,4	2	2	32	0	36
Único adaptador MTH 1-1 4" x Barb 32-S (para Modelo 32 4)	40	84	32	84	30	128	146	85	27,2	2,4	48	27,2	48	27,2	2	2	32	0	36
Único adaptador MTH 1-1 2" x Barb 40 (para Modelo 40 4)	50	97	40	97	32	128	157	89	36,8	1,6	60	36,8	60	36,8	2	2	40	0	36
Único adaptador MTH 1-1 2" x Barb 40-S (para Modelo 40 4)	50	97	40	97	32	128	157	89	34,0	3,0	60	34	60	34	2	2	40	0	36
Único adaptador MTH 1-1 2" x Barb 40,5 (para Modelo 40 5)	50	97	40	97	32	128	157	89	36,2	1,9	60	36,2	60	36,2	2	2	40	0	36
Único adaptador MTH 2" x Barb 50 (para Modelo 50 4)	63	124	50	124	37	152	183	101	46,0	2,0	75	46	75	46	2	2	50	0	36
Único adaptador MTH 2" x Barb 50,5 (para Modelo 50 5)	63	124	50	124	37	152	183	101	45,2	2,4	75	45,2	75	45,2	2	2	50	0	36
Único adaptador MTH 2-1 2" x Barb 63 (para Modelo 63 4)	75	166	63	166	47	270	233	136	58,0	2,5	94,5	58	94,5	58	2	2	63	0	36
Único adaptador MTH 2-1 2" x Barb 63,6 (para Modelo 63 6)	75	166	63	166	47	270	233	136	57,0	3,0	94,5	57	94,5	57	2	2	63	0	36
Sin adaptador MTH 1" x 1"	32	68	25	68	25	97	123	71	22,0	1,5	37,5	22	37,5	22	3	3	25	36	36
Sin adaptador MTH 1-1 4" x 1-1 4"	40	84	32	84	30	128	146	85	29,4	1,3	48	29,4	48	29,4	3	3	32	36	36
Sin adaptador MTH 1-1 2" x 1-1 42'	50	97	40	97	32	128	157	89	36,8	1,6	60	36,8	60	36,8	3	3	40	36	36
Sin adaptador MTH 2" x 2"	63	124	50	124	37	152	183	101	46,0	2,0	75	46	75	46	3	3	50	36	36
Sin adaptador MTH 2-1 2" x 2-1 2"	75	166	63	166	47	270	233	136	58,0	2,5	94,5	58	94,5	58	3	3	63	36	36

--- **Reductor.** Los reductores Netafim™ disponibles para las tuberías de pared gruesa son los denominados *Reductor barb*. En este caso específico, es necesario abarcar todas las posibles combinaciones de reducción, lo que genera una cantidad total de 37 configuraciones como se muestra en la Figura 83.

Figura 81. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Reductor.

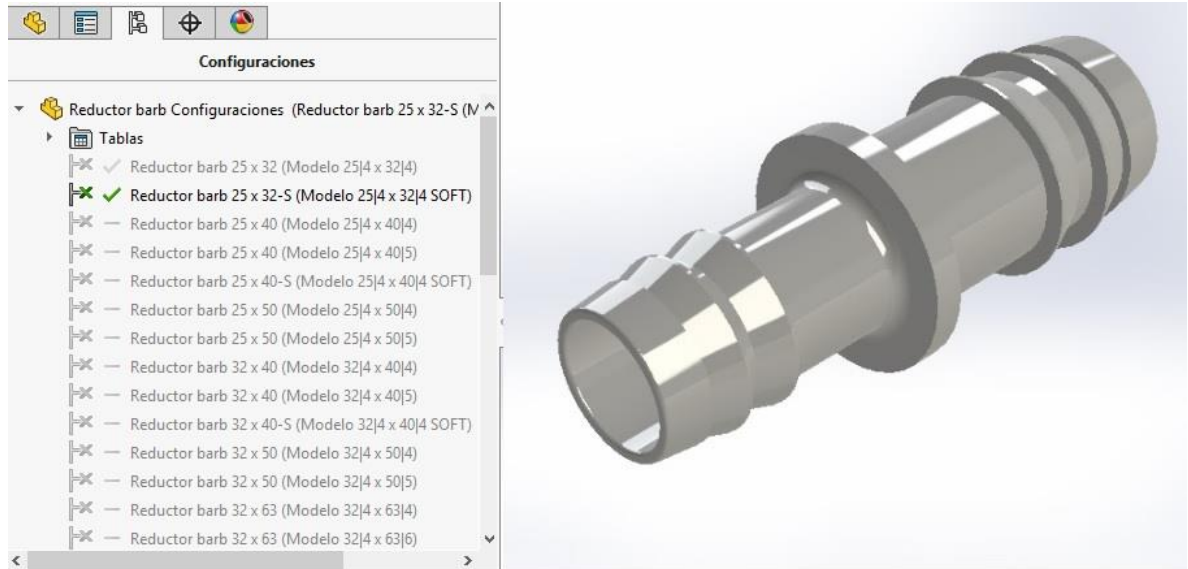


Figura 82. Ecuaciones – Reductor.

Ecuaciones, variables globales y cotas

Reductor barb 25 x 32-S

Nombre	Valor/Ecuación	Equivalencia	Comentarios
<b>Variables globales</b>			
"DiámetroInterno1"	= "DiámetroInterno1@Tubería1"	22mm	Diámetro interno de la tubería
"EspesorPared1"	= "EspesorPared1@Tubería1"	1.5mm	Espesor de pared de la tubería
"DiámetroExterno1"	= "DiámetroInterno1" + ("EspesorPared1" * 2)	25mm	Diámetro externo de la tubería
"DiámetroInterno2"	= "DiámetroInterno2@Tubería2"	27.2mm	Diámetro interno de la tubería
"EspesorPared2"	= "EspesorPared2@Tubería2"	2.4mm	Espesor de pared de la tubería
"DiámetroExterno2"	= "DiámetroInterno2" + ("EspesorPared2" * 2)	32	Diámetro externo de la tubería
<i>Agregar variable global</i>			
<b>Operaciones</b>			
"Redondeo1"	= IIF ("EspesorPared1" = 1.3, "suppressed", "unsuppressed")	unsuppressed	
"Redondeo2"	= IIF ("EspesorPared2" = 1.3, "suppressed", "unsuppressed")	unsuppressed	
<i>Agregar supresión de operación</i>			
<b>Ecuaciones</b>			
"RadioReferencia1@Croquis1"	= "RadioMedio1@Croquis1" + (("RadioExterno1@Croquis1" - "RadioMedio1@Croquis1") / 2)	10.25mm	
"L1B2@Croquis1"	= "DiámetroInterno2" * (3 / 11)	7.42mm	
"L2B2@Croquis1"	= "DiámetroInterno2" * (9 / 44)	5.56mm	
"L3B2@Croquis1"	= "DiámetroInterno2" * (5 / 44)	3.09mm	
"L4B2@Croquis1"	= "L2B2@Croquis1"	5.56mm	
"RadioExterno1@Croquis1"	= "DiámetroInterno1" / 2	11mm	
"RadioMedio1@Croquis1"	= ("DiámetroInterno1" - ("EspesorPared1" * 2)) / 2	9.5mm	
"RadioInterno1@Croquis1"	= ("DiámetroInterno1" - ("EspesorPared1" * 4)) / 2	8mm	
"LongitudAccesorio@Croquis1"	= ("DiámetroExterno1" + "DiámetroExterno2") + ("DiámetroExterno1" - "DiámetroExterno2")	81.6mm	
"LongitudBrazo1@Croquis1"	= "DiámetroExterno1"	25mm	
"LongitudBrazo2@Croquis1"	= "DiámetroExterno2"	32mm	

Reconstruir automáticamente  Unidades de ángulo:   Solucionar orden automat.

Vínculo a archivo externo:

Aceptar  
 Cancelar  
 Importar...  
 Exportar...  
 Ayuda

Figura 83. Tabla de diseño - Reductor.

Tabla de diseño para: Reductor barb													
	DiámetroInterno1@Tubería1	EspesorPared1@Tubería1	\$Descripción	DiámetroInterno2@Tubería2	EspesorPared2@Tubería2	AjustLongFin@PuntoC1	AjustLongFin@PuntoC2	Diámetro@PuntoC1	Diámetro@PuntoC2	LongRectMin@PuntoC1	LongRectMin@PuntoC2	Especificación@PuntoC1	Especificación@PuntoC2
Reductor barb 25 x 32 (Modelo 25 4 x 32 4)	22,0	1,5	Reductor barb para tubería PE	29,4	1,3	0	0	22,0	29,4	0	0	0	0
Reductor barb 25 x 32-S (Modelo 25 4 x 32 4 SOFT)	22,0	1,5	Reductor barb para tubería PE	27,2	2,4	0	0	22,0	27,2	0	0	0	0
Reductor barb 25 x 40 (Modelo 25 4 x 40 4)	22,0	1,5	Reductor barb para tubería PE	36,8	1,6	0	0	22,0	36,8	0	0	0	0
Reductor barb 25 x 40-S (Modelo 25 4 x 40 4 SOFT)	22,0	1,5	Reductor barb para tubería PE	34,0	3,0	0	0	22,0	34	0	0	0	0
Reductor barb 25 x 40 (Modelo 25 4 x 40 5)	22,0	1,5	Reductor barb para tubería PE	36,2	1,9	0	0	22,0	36,2	0	0	0	0
Reductor barb 25 x 50 (Modelo 25 4 x 50 4)	22,0	1,5	Reductor barb para tubería PE	46,0	2,0	0	0	22,0	46	0	0	0	0
Reductor barb 25 x 50 (Modelo 25 4 x 50 5)	22,0	1,5	Reductor barb para tubería PE	45,2	2,4	0	0	22,0	45,2	0	0	0	0
Reductor barb 32 x 40 (Modelo 32 4 x 40 4)	29,4	1,3	Reductor barb para tubería PE	36,8	1,6	0	0	29,4	36,8	0	0	1	1
Reductor barb 32 x 40-S (Modelo 32 4 x 40 4 SOFT)	29,4	1,3	Reductor barb para tubería PE	34,0	3,0	0	0	29,4	34	0	0	1	1
Reductor barb 32 x 40 (Modelo 32 4 x 40 5)	29,4	1,3	Reductor barb para tubería PE	36,2	1,9	0	0	29,4	36,2	0	0	1	1
Reductor barb 32 x 50 (Modelo 32 4 x 50 4)	29,4	1,3	Reductor barb para tubería PE	46,0	2,0	0	0	29,4	46	0	0	1	1
Reductor barb 32 x 50 (Modelo 32 4 x 50 5)	29,4	1,3	Reductor barb para tubería PE	45,2	2,4	0	0	29,4	45,2	0	0	1	1
Reductor barb 32 x 63 (Modelo 32 4 x 63 4)	29,4	1,3	Reductor barb para tubería PE	58,0	2,5	0	0	29,4	58	0	0	1	1
Reductor barb 32 x 63 (Modelo 32 4 x 63 6)	29,4	1,3	Reductor barb para tubería PE	57,0	3,0	0	0	29,4	57	0	0	1	1
Reductor barb 32-S x 40 (Modelo 32 4 SOFT x 40 4)	27,2	2,4	Reductor barb para tubería PE	36,8	1,6	0	0	27,2	36,8	0	0	2	2
Reductor barb 32-S x 40 (Modelo 32 4 SOFT x 40 4 S)	27,2	2,4	Reductor barb para tubería PE	34,0	3,0	0	0	27,2	34	0	0	2	2
Reductor barb 32-S x 40 (Modelo 32 4 SOFT x 40 5)	27,2	2,4	Reductor barb para tubería PE	36,2	1,9	0	0	27,2	36,2	0	0	2	2
Reductor barb 32-S x 50 (Modelo 32 4 SOFT x 50 4)	27,2	2,4	Reductor barb para tubería PE	46,0	2,0	0	0	27,2	46	0	0	2	2
Reductor barb 32-S x 50 (Modelo 32 4 SOFT x 50 5)	27,2	2,4	Reductor barb para tubería PE	45,2	2,4	0	0	27,2	45,2	0	0	2	2
Reductor barb 32-S x 63 (Modelo 32 4 SOFT x 63 4)	27,2	2,4	Reductor barb para tubería PE	58,0	2,5	0	0	27,2	58	0	0	2	2
Reductor barb 32-S x 63 (Modelo 32 4 SOFT x 63 6)	27,2	2,4	Reductor barb para tubería PE	57,0	3,0	0	0	27,2	57	0	0	2	2
Reductor barb 40 x 50 (Modelo 40 4 x 50 4)	36,8	1,6	Reductor barb para tubería PE	46,0	2,0	0	0	36,8	46	0	0	3	3
Reductor barb 40 x 50 (Modelo 40 4 x 50 5)	36,8	1,6	Reductor barb para tubería PE	45,2	2,4	0	0	36,8	45,2	0	0	3	3
Reductor barb 40 x 63 (Modelo 40 4 x 63 4)	36,8	1,6	Reductor barb para tubería PE	58,0	2,5	0	0	36,8	58	0	0	3	3
Reductor barb 40 x 63 (Modelo 40 4 x 63 6)	36,8	1,6	Reductor barb para tubería PE	57,0	3,0	0	0	36,8	57	0	0	3	3
Reductor barb 40-S x 50 (Modelo 40 4 SOFT x 50 4)	34	3	Reductor barb para tubería PE	46,0	2,0	0	0	34,0	46	0	0	4	4
Reductor barb 40-S x 50 (Modelo 40 4 SOFT x 50 5)	34	3	Reductor barb para tubería PE	45,2	2,4	0	0	34,0	45,2	0	0	4	4
Reductor barb 40-S x 63 (Modelo 40 4 SOFT x 63 4)	34	3	Reductor barb para tubería PE	58,0	2,5	0	0	34,0	58	0	0	4	4
Reductor barb 40-S x 63 (Modelo 40 4 SOFT x 63 6)	34	3	Reductor barb para tubería PE	57,0	3,0	0	0	34,0	57	0	0	4	4
Reductor barb 40,5 x 50 (Modelo 40 5 x 50 4)	36,2	1,9	Reductor barb para tubería PE	46,0	2,0	0	0	36,2	46	0	0	5	5
Reductor barb 40,5 x 50 (Modelo 40 5 x 50 5)	36,2	1,9	Reductor barb para tubería PE	45,2	2,4	0	0	36,2	45,2	0	0	5	5
Reductor barb 40,5 x 63 (Modelo 40 5 x 63 4)	36,2	1,9	Reductor barb para tubería PE	58,0	2,5	0	0	36,2	58	0	0	5	5
Reductor barb 40,5 x 63 (Modelo 40 5 x 63 6)	36,2	1,9	Reductor barb para tubería PE	57,0	3,0	0	0	36,2	57	0	0	5	5
Reductor barb 50 x 63 (Modelo 50 4 x 63 4)	46	2	Reductor barb para tubería PE	58,0	2,5	0	0	46,0	58	0	0	6	6
Reductor barb 50 x 63 (Modelo 50 4 x 63 6)	46	2	Reductor barb para tubería PE	57,0	3,0	0	0	46,0	57	0	0	6	6
Reductor barb 50,5 x 63 (Modelo 50 5 x 63 4)	45,2	2,4	Reductor barb para tubería PE	58,0	2,5	0	0	45,2	58	0	0	7	7
Reductor barb 50,5 x 63 (Modelo 50 5 x 63 6)	45,2	2,4	Reductor barb para tubería PE	57,0	3,0	0	0	45,2	57	0	0	7	7

--- **Tapones.** Los finales de línea o tapones Netafim™ disponibles para las tuberías de pared gruesa son los denominados *Tapones barb*, y para pared media se tienen los *Tapones fast ring*.

Figura 84. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Tapón barb.

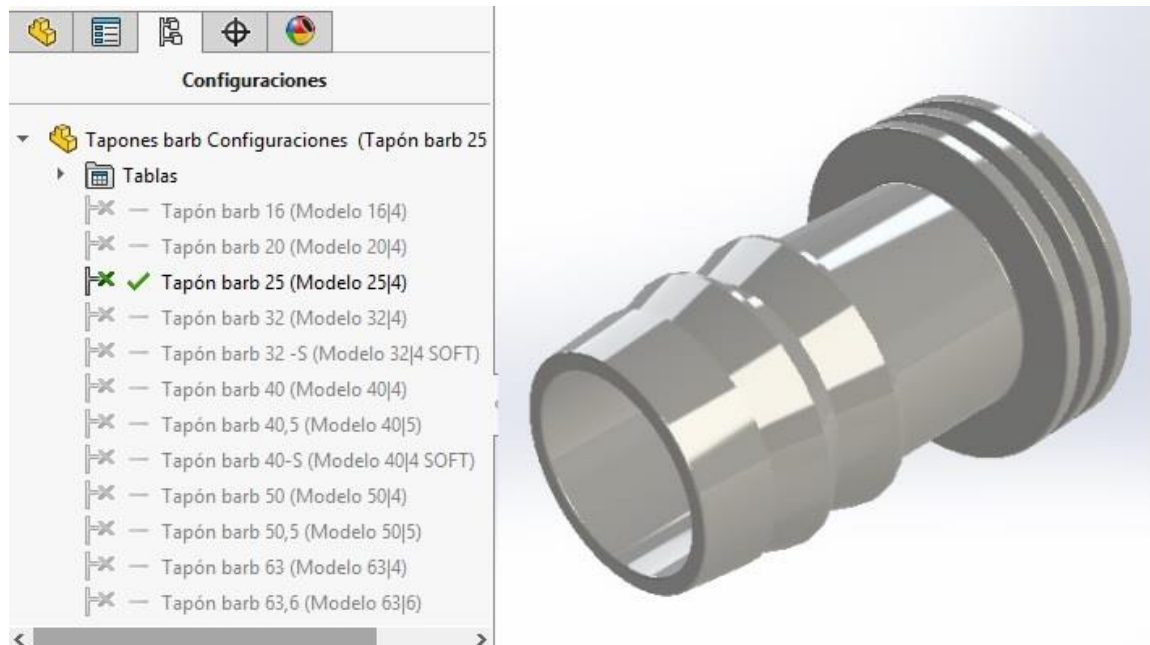


Figura 85. Ecuaciones - Tapón barb.

Ecuaciones, variables globales y cotas

Tapón barb 25 (Modelo : )

Nombre	Valor/Ecuación	Equivalencia	Comentarios
<b>Variables globales</b>			
"Diámetro interno"	= "DiámetroInterno@Croquis6"	22mm	Diámetro interno de la tubería
"Espesor pared"	= "Espesor pared@Croquis6"	1.5mm	Espesor de pared de la tubería
"Diámetro externo"	= "Diámetro interno" + ("Espesor pared" * 2)	25mm	Diámetro externo de la tubería
<i>Agregar variable global</i>			
<b>Operaciones</b>			
"Redondeo1"	= IIF ("Espesor pared" < 1.5, "suppressed", "unsuppressed")	unsuppressed	
<i>Agregar supresión de operación</i>			
<b>Ecuaciones</b>			
"RadioReferencia@Croquis1"	= "RadioMedio@Croquis1" + (( "RadioExterno@Croquis1" / 2))	10.25mm	
"RadioExterno@Croquis1"	= "Diámetro interno" / 2	11mm	
"RadioMedio@Croquis1"	= ("Diámetro interno" - ("Espesor pared" * 2)) / 2	9.5mm	
"RadioInterno@Croquis1"	= ("Diámetro interno" - ("Espesor pared" * 4)) / 2	8mm	
"LongitudAccesorio@Croquis1"	= "Diámetro externo" * 2 + "Diámetro interno"	72mm	
"LongitudBrazo1@Croquis1"	= "Diámetro externo"	25mm	
"L1B1@Croquis1"	= "Diámetro interno" * (3 / 11)	6mm	
"L2B1@Croquis1"	= "Diámetro interno" * (9 / 44)	4.5mm	
"L3B1@Croquis1"	= "Diámetro interno" * (5 / 44)	2.5mm	
"L4B1@Croquis1"	= "L2B1@Croquis1"	4.5mm	
"D1@Croquis5"	= "LongitudAccesorio@Croquis1"	72mm	
"CP1@Croquis5"	= "L1B1@Croquis1" + "L2B1@Croquis1" + "L3B1@Croquis1"	20.5mm	
"CP2@Croquis5"	= "CP1@Croquis5"	20.5mm	
"LCentro@Croquis1"	= "Espesor pared" * 5	7.5mm	
"RCentro@Croquis1"	= "RadioExterno@Croquis1" + ("Espesor pared" * 2)	14mm	

Reconstruir automáticamente    Unidades de ángulo:      Solucionar orden automat.

Vínculo a archivo externo

Aceptar    Cancelar    Importar...    Exportar...    Ayuda

Figura 86. Tabla de diseño - Tapón barb.

Tabla de diseño para: Tapones barb							
	DiámetroInterno@Croquis6	Esesor pared@Croquis6	\$Descripción	AjusLongFin@PuntoC1	Diámetro@PuntoC1	LongRectMin@PuntoC1	Especificación@PuntoC1
Tapón barb 16 (Modelo 16 4)	14,0	1,0	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 16/4	0	14,0	0	0
Tapón barb 20 (Modelo 20 4)	17,6	1,2	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 20/4	0	17,6	0	1
Tapón barb 25 (Modelo 25 4)	22,0	1,5	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 25/4	0	22,0	0	2
Tapón barb 32 (Modelo 32 4)	29,4	1,3	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 32/4	0	29,4	0	3
Tapón barb 32-S (Modelo 32 4 SOFT)	27,2	2,4	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 32/4 SOFT	0	27,2	0	3
Tapón barb 40 (Modelo 40 4)	36,8	1,6	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 40/4	0	36,8	0	4
Tapón barb 40-S (Modelo 40 4 SOFT)	34,0	3,0	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 40/4 SOFT	0	34,0	0	4
Tapón barb 40,5 (Modelo 40 5)	36,2	1,9	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 40/5	0	36,2	0	4
Tapón barb 50 (Modelo 50 4)	46,0	2,0	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 50/4	0	46,0	0	5
Tapón barb 50,5 (Modelo 50 5)	45,2	2,4	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 50/5	0	45,2	0	5
Tapón barb 63 (Modelo 63 4)	58,0	2,5	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 63/4	0	58,0	0	6
Tapón barb 63,6 (Modelo 63 6)	57,0	3,0	Tapón barb para finales de tubería PE estándar 63/5	0	57,0	0	6

Figura 87. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Tapón fast ring.

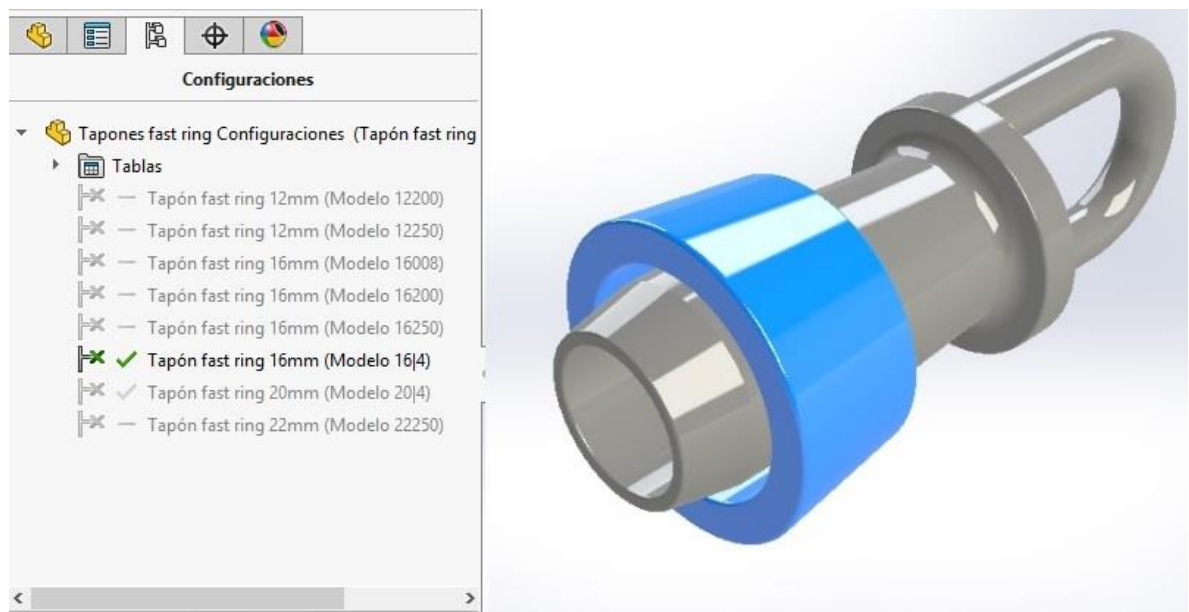


Figura 88. Ecuaciones - Tapón fast ring.

Ecuaciones, variables globales y cotas

Tapón fast ring 16mm (M)

Nombre	Valor/Ecuación	Equivalencia	Comentarios
<b>Variables globales</b>			
"DiámetroInterno"	= "DiámetroInterior@CroquisTubería"	14mm	Diámetro interno de la tubería
"EspesorPared"	= "EspesorPared@CroquisTubería"	1mm	Espesor de pared de la tubería
"DiámetroExterno"	= "DiámetroInterno" + ("EspesorPared" * 2)	16	Diámetro externo de la tubería
Agregar variable global			
<b>Operaciones</b>			
Agregar supresión de operación			
<b>Ecuaciones</b>			
"LongitudAccesorio@Croquis1"	= int ("DiámetroExterno" * 3.75)	60mm	
"L3Cuerpo@Croquis1"	= int ("EspesorPared" * 3)	3mm	
"R2Cuerpo@Croquis1"	= "RadioExterno@Croquis1" + ("RadioInterno@Croquis1"	9mm	
"RadioExterno@Croquis1"	= "DiámetroInterno" / 2	7mm	
"RadioMedio@Croquis1"	= ("DiámetroInterno" - ("EspesorPared" * 2)) / 2	6mm	
"RadioInterno@Croquis1"	= ("DiámetroInterno" - ("EspesorPared" * 4)) / 2	5mm	
"L1Cuerpo@Croquis1"	= int ("DiámetroInterno" * (5 / 12))	5mm	
"L2Cuerpo@Croquis1"	= int ("DiámetroInterno" * (5 / 6))	11mm	
"LongitudMediaAccesorio@Croquis1"	= "LongitudAccesorio@Croquis1" / 2	30mm	
"R1A@Croquis3"	= "DiámetroExterno" / 2	8mm	
"R2A@Croquis3"	= ("DiámetroExterno" + ("EspesorPared" * 3)) / 2	9.5mm	
"R3A@Croquis3"	= ("DiámetroExterno" + ("EspesorPared" * 6)) / 2	11mm	
"L1A@Croquis3"	= "L1Cuerpo@Croquis1"	5mm	
"L2A@Croquis3"	= "L2Cuerpo@Croquis1"	11mm	
"Rref@Croquis3"	= "RadioExterno@Croquis1"	7mm	
"Rref@Croquis3"	= "EspesorPared" * 1.5	1.5mm	

Reconstruir automáticamente    Unidades de ángulo:      Solucionar orden automat.

Vínculo a archivo externo:

Figura 89. Tabla de diseño - Tapón fast ring

Tabla de diseño para: Tapones fast ring							
	DiámetroInterior@CroquisTubería	EspesorPared@CroquisTubería	AjusLongFin@PuntoC1	Diámetro@PuntoC1	LongRectMin@PuntoC1	Especificación@PuntoC1	\$PRP@Tamaño nominal de la
Tapón fast ring 16mm (Modelo 16 4)	14,00	1,00	0	14,00	0	1	16
Tapón fast ring 20mm (Modelo 20 4)	17,60	1,20	0	17,60	0	1	20

--- **Conectores de inicio.** Los conectores de inicio de línea Netafim™ disponibles para las tuberías de pared media son los denominados *Conector de inicio fast ring* (o conectores de inicio de anillo rápido). Se usan para unir las líneas laterales a la terciaria; debido a esto, la familia de piezas del modelo cuenta únicamente con dos grupos de configuraciones, ligados al diámetro nominal de las tuberías recomendadas en las líneas porta goteros: 16 y 20mm.

Figura 90. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Conector de inicio.



Figura 91. Ecuaciones - Conector de inicio

Ecuaciones, variables globales y cotas

Conector de inicio 16 x 2

Nombre	Valor/Ecuación	Equivalencia	Comentarios
<b>Variables globales</b>			
"DiámetroInterno1"	= "DiámetroInterno1@Tubería"	14mm	Diámetro interno de la Línea de tubería
"EspesorPared1"	= "EspesorPared1@Tubería"	1mm	Espesor de pared de la Línea de tubería
"DiámetroExterno1"	= "DiámetroInterno1" + ("EspesorPared1" * 2)	16	Diámetro externo de la Línea de tubería
"DiámetroInterno2"	= "DiámetroInterno2@Tubería"	22mm	Diámetro interno de la tubería
"EspesorPared2"	= "EspesorPared2@Tubería"	1.5mm	Espesor de pared de la tubería
"DiámetroExterno2"	= "DiámetroInterno2" + ("EspesorPared2" * 2)	25	Diámetro externo de la tubería
<i>Agregar variable global</i>			
<b>Operaciones</b>			
<i>Agregar supresión de operación</i>			
<b>Ecuaciones</b>			
"Dint@Croquis1"	= "DiámetroInterno2"	22mm	
"EP@Croquis1"	= "EspesorPared2"	1.5mm	
"Rmed2@Croquis1"	= IIF ("DiámetroInterno2" < 30, 4, 5)	4mm	
"Rint2@Croquis1"	= "Rmed2@Croquis1" - "EspesorPared1"	3mm	
"Rext2@Croquis1"	= "Rmed2@Croquis1" + ("EspesorPared1" * 2)	6mm	
"LongitudAccesorio@Croquis1"	= ("L1Cuerpo@Croquis1") + ("L2Cuerpo@Croquis1" * 3)	62.75mm	
"Rint1@Croquis1"	= ("DiámetroInterno1" - ("EspesorPared1" * 4)) / 2	5mm	
"Rmed1@Croquis1"	= ("DiámetroInterno1" - ("EspesorPared1" * 2)) / 2	6mm	
"Rext1@Croquis1"	= "DiámetroInterno1" / 2	7mm	
"RCentro@Croquis1"	= "Rext1@Croquis1" + ("Rint1@Croquis1" / 2)	9.5mm	
"LCentro@Croquis1"	= int ("EspesorPared1" * 10)	10mm	
"L1C@Croquis1"	= "LCentro@Croquis1" / 5	2mm	
"L2C@Croquis1"	= "L1C@Croquis1"	2mm	

Reconstruir automáticamente    Unidades de ángulo:      Solucionar orden automat.

Vínculo a archivo externo:

Aceptar, Cancelar, Importar..., Exportar..., Ayuda

Figura 92. Tabla de diseño - Conector de inicio

Tabla de diseño para: Conector de inicio fast ring															
	Diámetro Interno 1 @Tubería	Espesor Pare dl @Tubería	Ajust Long Fin @Punto C1	Diámetro @Punto C1	Long Rect Min @Pu nto C1	Ajust Long Fin @Punto C2	Diámetro @Punto C2	Diámetro @Punto C3	Long Rect Min @Pu nto C2	Long Rect Min @Pu nto C3	Diámetro Interno 2 @Tubería	Espesor Pare dl @Tubería	Especificación @Pu nto C1	Especificación @Pu nto C2	Especificación @Pu nto C3
Conector de inicio 16 x 25 (Modelo 16 4 x 25 4)	14,0	1,0	0	22,0	0	0	22,0	14,0	0	0	22,0	1,5	11	11	11
Conector de inicio 16 x 32 (Modelo 16 4 x 32 4)	14,0	1,0	0	29,4	0	0	29,4	14,0	0	0	29,4	1,3	11	11	11
Conector de inicio 16 x 32-S (Modelo 16 4 x 32 4 SOF)	14,0	1,0	0	27,2	0	0	27,2	14,0	0	0	27,2	2,4	11	11	11
Conector de inicio 16 x 40 (Modelo 16 4 x 40 4)	14,0	1,0	0	36,8	0	0	36,8	14,0	0	0	36,8	1,6	11	11	11
Conector de inicio 16 x 40-S (Modelo 16 4 x 40 4 SOF)	14,0	1,0	0	34,0	0	0	34,0	14,0	0	0	34,0	3,0	11	11	11
Conector de inicio 16 x 40,5 (Modelo 16 4 x 40 5)	14,0	1,0	0	36,2	0	0	36,2	14,0	0	0	36,2	1,9	11	11	11
Conector de inicio 16 x 50 (Modelo 16 4 x 50 4)	14,0	1,0	0	46,0	0	0	46,0	14,0	0	0	46,0	2,0	11	11	11
Conector de inicio 16 x 50,5 (Modelo 16 4 x 50 5)	14,0	1,0	0	45,2	0	0	45,2	14,0	0	0	45,2	2,4	11	11	11
Conector de inicio 16 x 63 (Modelo 16 4 x 63 4)	14,0	1,0	0	58,0	0	0	58,0	14,0	0	0	58,0	2,5	11	11	11
Conector de inicio 16 x 63,6 (Modelo 16 4 x 63 6)	14,0	1,0	0	57,0	0	0	57,0	14,0	0	0	57,0	3,0	11	11	11
Conector de inicio 20 x 25 (Modelo 20 4 x 25 4)	17,6	1,2	0	22,0	0	0	22,0	17,6	0	0	22,0	1,5	12	12	12
Conector de inicio 20 x 32 (Modelo 20 4 x 32 4)	17,6	1,2	0	29,4	0	0	29,4	17,6	0	0	29,4	1,3	12	12	12
Conector de inicio 20 x 32-S (Modelo 20 4 x 32 4 SOF)	17,6	1,2	0	27,2	0	0	27,2	17,6	0	0	27,2	2,4	12	12	12
Conector de inicio 20 x 40 (Modelo 20 4 x 40 4)	17,6	1,2	0	36,8	0	0	36,8	17,6	0	0	36,8	1,6	12	12	12
Conector de inicio 20 x 40-S (Modelo 20 4 x 40 4 SOF)	17,6	1,2	0	34,0	0	0	34,0	17,6	0	0	34,0	3,0	12	12	12
Conector de inicio 20 x 40,5 (Modelo 20 4 x 40 5)	17,6	1,2	0	36,2	0	0	36,2	17,6	0	0	36,2	1,9	12	12	12
Conector de inicio 20 x 50 (Modelo 20 4 x 50 4)	17,6	1,2	0	46,0	0	0	46,0	17,6	0	0	46,0	2,0	12	12	12
Conector de inicio 20 x 50,5 (Modelo 20 4 x 50 5)	17,6	1,2	0	45,2	0	0	45,2	17,6	0	0	45,2	2,4	12	12	12
Conector de inicio 20 x 63 (Modelo 20 4 x 63 4)	17,6	1,2	0	58,0	0	0	58,0	17,6	0	0	58,0	2,5	12	12	12
Conector de inicio 20 x 63,6 (Modelo 20 4 x 63 6)	17,6	1,2	0	57,0	0	0	57,0	17,6	0	0	57,0	3,0	12	12	12

#### 4.2.3.4 Filtro de anillos manual.

Los filtros de anillos manuales de Netafim™ se parametrizan en función de los diámetros nominales de las tuberías PE estándar disponibles para el sistema de riego. La información técnica empleada para el modelado 3D CAD del *Filtro Arkal Short* seleccionado en el diseño en detalle, se encuentra en el *Anexo E. Selección del sistema de filtrado*. De forma similar a la válvula, en el modelo 3D CAD del filtro de anillos manual se insertan adaptadores MTH x barb para realizar correctamente el ensamble en el sistema de riego total. Todas las configuraciones del filtro creadas cuentan con adaptadores para diámetros nominales desde 1" a 1-1/2". Se hace uso de ecuaciones y tabla de diseño para generar la familia de piezas. El modelo 3D CAD del filtro de anillos *Arkal Short* es una *pieza multicuerpo*.

Figura 93. Familia de piezas y Modelo 3D CAD - Filtro de anillos manual.



Figura 94. Ecuaciones - Filtro de anillo manual.

Ecuaciones, variables globales y cotas

Adaptador FTH 1" x Barb

Nombre	Valor/Ecuación	Equivalencia	Comentarios
<b>Variables globales</b>			
"DiámetroInterno1"	= "DiámetroInterno1@Tubería1"	22mm	Diámetro interno de la tubería
"EspesorPared1"	= "EspesorPared1@Tubería1"	1.5mm	Espesor de pared de la tubería
"DiámetroExterno1"	= "DiámetroInterno1" + ("EspesorPared1" * 2)	25mm	Diámetro externo de la tubería
"DiámetroInterno2"	= "DiámetroInterno2@Tubería2"	25.4mm	Diámetro interno del filtro
"EspesorPared2"	= "EspesorPared2@Tubería2"	1.5mm	Espesor de pared del filtro
"DiámetroExterno2"	= "DiámetroInterno2" + ("EspesorPared2" * 2)	28.4	Diámetro externo del filtro
"LFiltro"	= "LFiltro@Filtro"	233mm	Longitud del Filtro
"WFiltro"	= "WFiltro@Filtro"	130mm	Ancho del filtro
"HFiltro"	= "HFiltro@Filtro"	158mm	Distancia entre los terminales
<i>Agregar variable global</i>			
<b>Operaciones</b>			
"Redondeo1"	= IIF ("EspesorPared1" = 1.3, "suppressed", "unsuppressed")	"unsuppressed"	
<i>Agregar supresión de operación</i>			
<b>Ecuaciones</b>			
"RadioReferencia1@Croquis1"	= "RadioMedio1@Croquis1" + (( "RadioExterno1@Croquis1" - "RadioMedio1@Croquis1" ) / 2)	10.25mm	
"RadioExterno1@Croquis1"	= "DiámetroInterno1" / 2	11mm	
"RadioMedio1@Croquis1"	= ( "DiámetroInterno1" - ("EspesorPared1" * 2) ) / 2	9.5mm	
"RadioInterno1@Croquis1"	= ( "DiámetroInterno1" - ("EspesorPared1" * 4) ) / 2	8mm	
"LongitudAccesorio@Croquis1"	= ( "DiámetroExterno1" + "DiámetroExterno2" ) + (( "DiámetroExterno1" - "DiámetroExterno2" ) / 2)	65.25mm	
"LongitudBrazo1@Croquis1"	= "DiámetroExterno1"	25mm	
"L1B1@Croquis1"	= "DiámetroInterno1" * ( 3 / 11 )	6mm	
"L2B1@Croquis1"	= "DiámetroInterno1" * ( 9 / 44 )	4.5mm	
"L3B1@Croquis1"	= "DiámetroInterno1" * ( 5 / 44 )	2.5mm	

Reconstruir automáticamente    Unidades de ángulo:      Solucionar orden automat.

Vínculo a archivo externo:

Figura 95. Tabla de diseño - Filtro de anillos manual.

Tabla de diseño para: Filtro Arkal Short															
	DiámetroInterno1@Tub eria1	EspesorPared1@Tubería 1	DiámetroInterno2@Tub eria2	EspesorPared2@Tubería 2	HFiltro@Filtro	WFiltro@Filtro	LFiltro@Filtro	AjusLongFin@PuntoC1	AjusLongFin@PuntoC2	Especificación@PuntoC1	Especificación@PuntoC2	LongRectMin@PuntoC1	LongRectMin@PuntoC2	Diámetro@PuntoC1	Diámetro@PuntoC2
Adaptador FTH 1" x Barb 25 (para Modelo 25 4)	22,0	1,5	25,4	1,5	158	130	233	0	0	0	0	0	0	22,0	22,0
Adaptador FTH 1" x Barb 32 (para Modelo 32 4)	29,4	1,3	25,4	1,5	158	130	233	0	0	0	0	0	0	29,4	29,4
Adaptador FTH 1" x Barb 32-S (para Modelo 32 4 SOFT)	27,2	2,4	25,4	1,5	158	130	233	0	0	0	0	0	0	27,2	27,2
Adaptador FTH 1-1 2" x Barb 40 (para Modelo 40 4)	36,8	1,6	38,1	1,6	200	130	250	0	0	0	0	0	0	36,8	36,8
Adaptador FTH 1-1 2" x Barb 40-S (para Modelo 40 4 SOFT)	34,0	3,0	38,1	1,6	200	130	250	0	0	0	0	0	0	34,0	34,0
Adaptador FTH 1-1 2" x Barb 40,5 (para Modelo 40 5)	36,2	1,9	38,1	1,6	200	130	250	0	0	0	0	0	0	36,2	36,2
Adaptador FTH 1-1 2" x Barb 50 (para Modelo 50 4)	46,0	2,0	38,1	1,6	200	130	250	0	0	0	0	0	0	46,0	46,0
Adaptador FTH 1-1 2" x Barb 50,5 (para Modelo 50 5)	45,2	2,4	38,1	1,6	200	130	250	0	0	0	0	0	0	45,2	45,2

**4.2.3.5 Tanque de almacenamiento.** El tanque de almacenamiento de agua seleccionado en el diseño en detalle (véase Sección 3.2.3.8 – Paso 4) cuenta con una capacidad de 10000 litros y es de la empresa Rotoplast. El tanque no es un componente que requiera parametrizarse debido a que posee dimensiones fijas establecidas; sin embargo, según las consideraciones realizadas en el diseño, se estableció que la válvula para la salida del agua se iba a insertar en el tanque a 10 cm de altura medidos desde la base. Es así, como el modelo 3D CAD debe considerar no sólo este componente, sino el ensamblaje de la válvula y los soportes con vigas de concreto necesarios en su instalación y puesta en marcha (véase Figura 96). La parametrización de este modelo se realiza a la válvula en función de los diámetros nominales disponibles para la línea de transporte.

Figura 96. Familia de piezas, modelo 3D CAD tanque con acercamiento a montaje de la válvula.

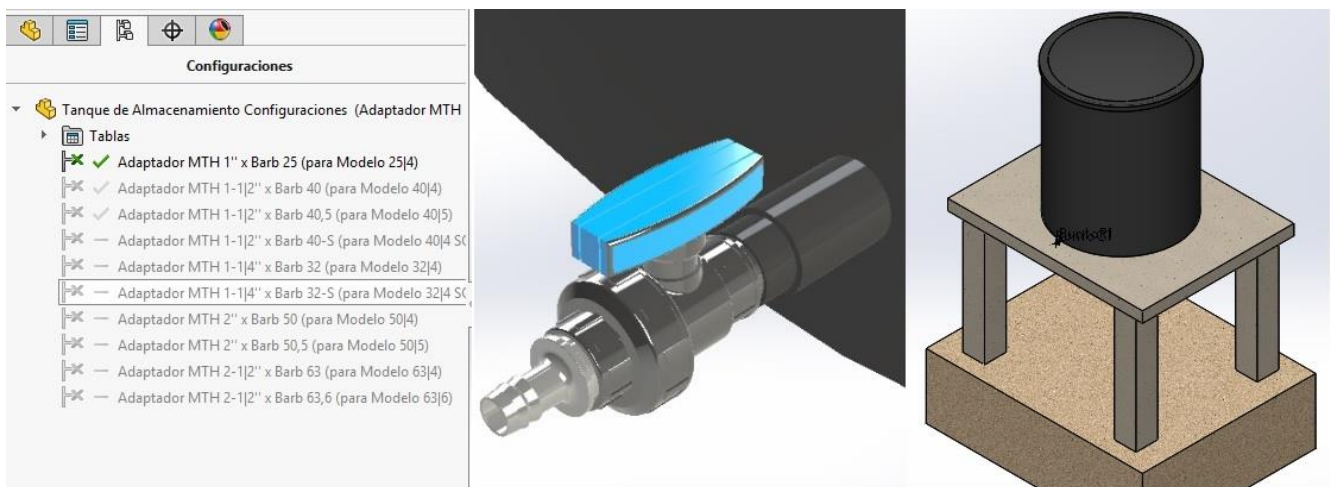


Figura 97. Ecuaciones - Tanque de almacenamiento.

Ecuaciones, variables globales y cotas

Nombre	Valor/Ecuación	Equivale a	Comentarios
<b>Variables globales</b>			
"d_menor"	= "d_menor@Válvula1"	32mm	
"D_mayor"	= "D_mayor@Válvula1"	68mm	
"D_nominal"	= "D_nominal@Válvula1"	25mm	
"H"	= "H@Válvula1"	68mm	
"L"	= "L@Válvula2"	123mm	
"L2"	= "L2@Válvula2"	71mm	
"L4"	= "L4@Válvula1"	25mm	
"L1"	= "L1@Válvula1"	97mm	
"DiámetroInterno1"	= "DiámetroInterno1@Tubería1"	22mm	Diámetro interno de la tubería
"EspesorPared1"	= "EspesorPared1@Tubería1"	1.5mm	
"DiámetroExterno1"	= "DiámetroInterno1" + ("EspesorPared1" * 2)	25	
<i>Agregar variable global</i>			
<b>Operaciones</b>			
<i>Agregar supresión de operación</i>			
<b>Ecuaciones</b>			
"R_nominal@Válvula2"	= "D_nominal" / 2	12.5mm	
"r_menor@Válvula2"	= "d_menor" / 2	16mm	
"R_mayor@Válvula2"	= "D_mayor" / 2	34mm	
"L3ref@Válvula2"	= "L3@Válvula2" / 2	4.33mm	
"L3@Válvula2"	= ( ("L" - "L2") / 2 ) * ( 1 / 3 )	8.67mm	
"L4@Válvula2"	= "L3@Válvula2"	8.67mm	
"L4ref@Válvula2"	= "L4@Válvula2" / 2	4.33mm	
"L5@Válvula2"	= "L2@Válvula2" * ( 2 / 3 )	76mm	

Reconstruir automáticamente

Unidades de ángulo:

Solucionar orden automat.

Vínculo a archivo externo:

Figura 98. Tabla de diseño - Tanque de almacenamiento.

Tabla de diseño para: Tanque de Almacenamiento															
	d_menor@Válvula1	D_mayor@Válvula1	D_nominal@Válvula1	H@Válvula1	L4@Válvula1	L1@Válvula1	L@Válvula2	L2@Válvula2	DiámetroInterno1@Tubería1	EspesorPared1@Tubería1	Longitud de terminal@PuntoC1	Diámetro@PuntoC1	Especificación@PuntoC1	\$prp@Nominal Diameter	AjusLongfin@PuntoC1
Adaptador MTH 1'' x Barb 25 (para Modelo 25 4)	32	68	25	68	25	97	123	71	22,0	1,5	37,5	22	2	25	0
Adaptador MTH 1-1 4'' x Barb 32 (para Modelo 32 4)	40	84	32	84	30	128	146	85	29,4	1,3	48	29,4	2	32	0
Adaptador MTH 1-1 4'' x Barb 32-S (para Modelo 32 4)	40	84	32	84	30	128	146	85	27,2	2,4	48	27,2	2	32	0
Adaptador MTH 1-1 2'' x Barb 40 (para Modelo 40 4)	50	97	40	97	32	128	157	89	36,8	1,6	60	36,8	2	40	0
Adaptador MTH 1-1 2'' x Barb 40-S (para Modelo 40 4)	50	97	40	97	32	128	157	89	34,0	3,0	60	34	2	40	0
Adaptador MTH 1-1 2'' x Barb 40,5 (para Modelo 40 4)	50	97	40	97	32	128	157	89	36,2	1,9	60	36,2	2	40	0
Adaptador MTH 2'' x Barb 50 (para Modelo 50 4)	63	124	50	124	37	152	183	101	46,0	2,0	75	46	2	50	0
Adaptador MTH 2'' x Barb 50,5 (para Modelo 50 5)	63	124	50	124	37	152	183	101	45,2	2,4	75	45,2	2	50	0
Adaptador MTH 2-1 2'' x Barb 63 (para Modelo 63 4)	75	166	63	166	47	270	233	136	58,0	2,5	94,5	58	2	63	0
Adaptador MTH 2-1 2'' x Barb 63,6 (para Modelo 63 4)	75	166	63	166	47	270	233	136	57,0	3,0	94,5	57	2	63	0

**4.2.4 Sistema de riego por goteo.** Para construir el trayecto de tuberías e insertar todos los componentes modelados en el sistema de riego por goteo es necesario hacer uso del complemento *SOLIDWORKS Routing*.

**4.2.4.1 Generalidades de *SOLIDWORKS Routing*.** *SOLIDWORKS Routing* es un complemento de SolidWorks que permite crear automáticamente un subensamblaje de recorrido dentro de un ensamblaje mediante la inserción de ciertos componentes (denominados *piezas de recorrido*). Este subensamblaje puede construir un trayecto de tuberías, tubos, cables eléctricos o conductos entre piezas de recorrido.

Los tipos de recorridos que se pueden crear con *SOLIDWORKS Routing* son: sistemas de tuberías, tuberías flexibles, eléctrico (mangueras y cables), bandeja porta cables, conductos, enlaces, conductor eléctrico, cintas de cables, cables flexibles y definidos por el usuario (secciones transversales rectangulares y circulares)<sup>106</sup>.

Para activar el complemento se debe ir a la pestaña *Herramientas > Complementos*. En el cuadro de diálogo *Complementos* se va a iniciar *SOLIDWORKS Routing* como se muestra en la Figura 99.

Figura 99. Ubicación de complemento *SOLIDWORKS Routing*.



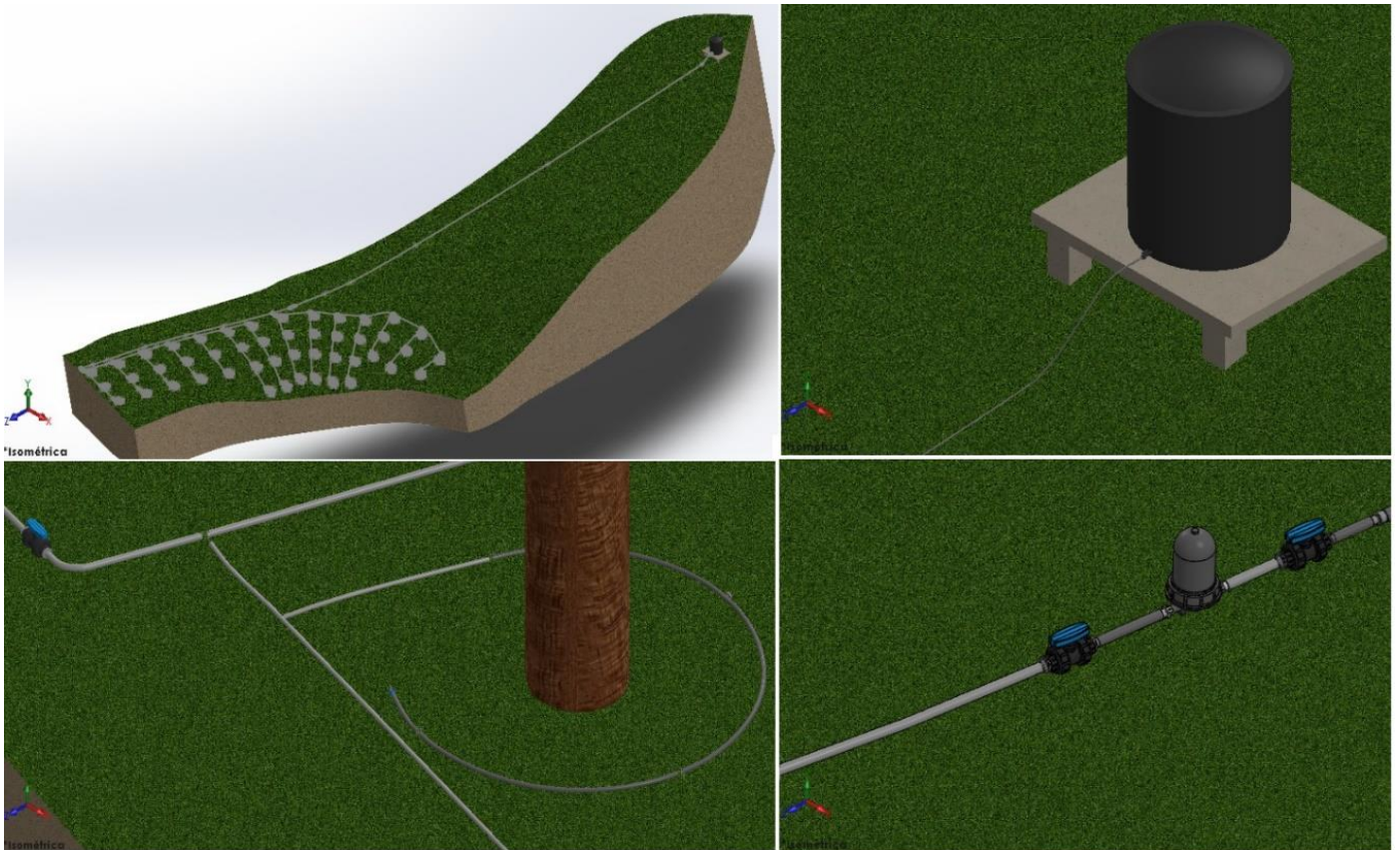
<sup>106</sup> SolidBI. *SOLIDWORKS Routing*. [En línea]. (Recuperado en: 31 de agosto de 2020). Disponible en: <https://solid-bi.es/project/solidworks-routing-tutorial-solidworks/>

**4.2.4.2 Ensamblaje del sistema de riego por goteo con disposición de anillos.** Antes de comenzar con el ensamblaje, los componentes del sistema de riego modelados deben convertirse en *piezas de recorrido*. Es posible obtener ayuda guiada en la creación de componentes de *Routing* a través del asistente *Routing Component Wizard* presente en la herramienta *Routing Library Manager*. Información detallada al respecto se muestra en el *Anexo L. Creación de componentes de Routing en SolidWorks mediante el asistente Routing Component Wizard*.

Una vez completado el procedimiento guiado, los componentes modelados del sistema de riego se agregan a la carpeta *Routing* dentro de la *Biblioteca de diseño*. Con esta biblioteca personalizada, se inicia el ensamblaje del sistema.

La primera pieza para posicionar es el terreno del cultivo; después, se comienza a ubicar cada uno de los componentes sobre curvas proyectadas realizadas en la superficie del terreno a modo de guía. Se deja para el final el tanque de almacenamiento de agua. El resultado final se muestra en la Figura 100.

Figura 100. Ensamblaje del sistema de riego por goteo para disposición de anillos.



### 4.3 SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

En esta sección, se va a evaluar el funcionamiento del sistema de riego por goteo modelado paramétricamente mediante simulaciones de flujo y presión realizadas en el complemento *SolidWorks Flow Simulation*.

“SolidWorks Flow Simulation” está basado en los mismo criterios matemáticos que el software de dinámica de fluidos computacional (CFD) tradicional.”<sup>107</sup>

La generación de la simulación se explica paso a paso en el *Anexo M. Procedimiento para la simulación de flujo de fluido en el sistema de riego por goteo mediante SolidWorks Flow Simulation*.

Con SolidWorks Flow Simulation se utilizan los datos nativos de los componentes del sistema creados en el software CAD de SolidWorks para el desarrollo de la simulación de flujo de fluido. El complemento también permite la creación automática del dominio del fluido a partir de la geometría de las piezas.

El estudio del funcionamiento del sistema de riego por goteo se va a centrar en la Unidad de Riego. El dominio del fluido se establece desde el inicio de la tubería primaria hasta la última línea sublatera en cada subunidad.

Respecto a la malla, SolidWorks Flow Simulation cuenta con un mallador automático capaz de refinar/desrefinar el mallado a partir de las características de los modelos. Para obtener una precisión elevada se decide trabajar con un nivel de mallado 6 de 7. Las condiciones de frontera son:

- Condición a la entrada: Se establece la entrada del fluido en el inicio de la tubería primaria a una presión de 0,924 [bar].
- Condición a la salida: El fluido va a salir por los goteros, por lo que se establecen 188 condiciones de salida a un caudal de 4 [L/h].

---

<sup>107</sup> SOLIDWORKS. Por qué SolidWorks Flow Simulation es la opción perfecta para los ingenieros de producto. [En línea]. (Recuperado en: 10 de septiembre de 2020). Disponible en: <https://www.solidworks.com/es/media/solidworks-flow-simulation-right-choice-product-engineers>

Los resultados de flujo y presión obtenidos mediante la simulación se presentan en las Figura 101 y Figura 102, respectivamente.

Figura 101. Simulación de flujo en Sistema de riego por goteo disposición de anillos.

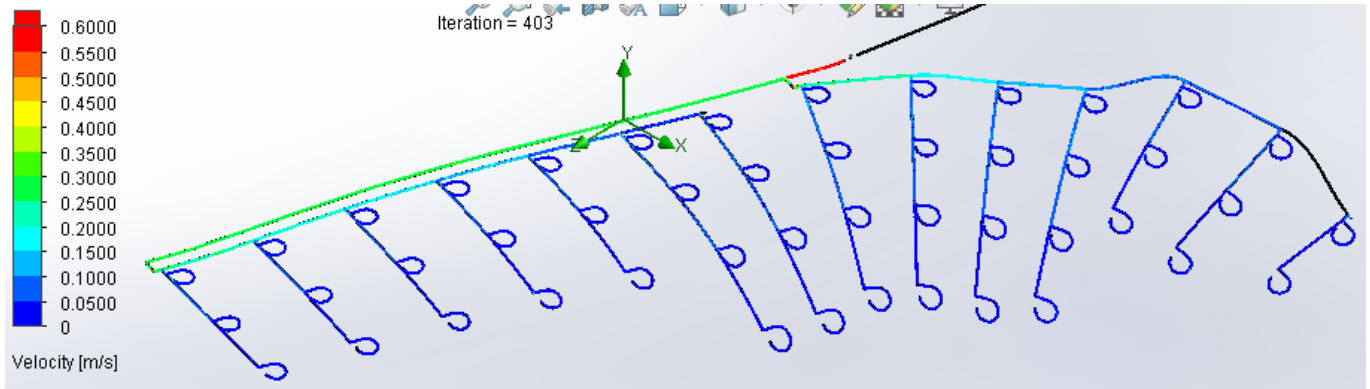
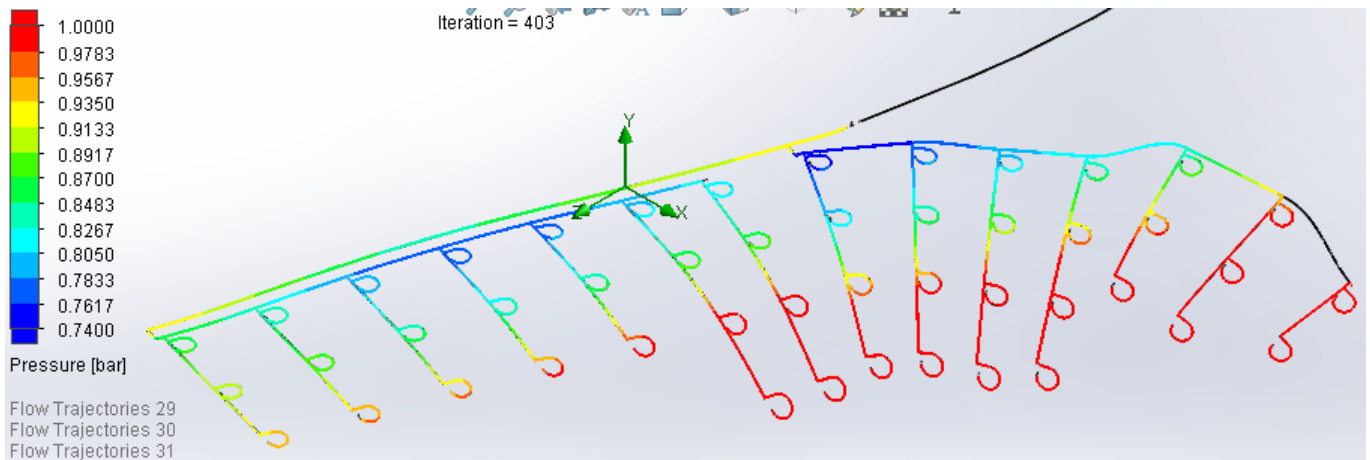


Figura 102. Simulación de presión en Sistema de riego por goteo disposición de anillos.



Adicionalmente, se posicionan sensores (*goals*) en los puntos de interés del sistema de riego para generar un informe de resultados, numérico y gráfico, directamente de SolidWorks. En total son 128 sensores (para los nombres véase Figura 25) a la entrada de cada una de las líneas primaria, secundaria, terciaria, laterales y sublaterales. La Tabla 46 muestra los resultados de velocidad y presión en cada sensor; valores mínimo, máximo y promedio; y el control de convergencia.

Tabla 46. Resultados de la simulación en sensores generados automáticamente con SolidWorks.

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
P L1 SU2	[bar]	0,858399939	0,85842764	0,858351012	0,858506534	100	Yes	8,3152E-05	0,052664543
V L1 SU2	[m/s]	0,100107761	0,099890334	0,099538805	0,100238326	100	Yes	1,97488E-05	0,00035804
P L2 SU2	[bar]	0,831567844	0,831599338	0,831509874	0,831682001	100	Yes	0,000103999	0,052540448
V L2 SU2	[m/s]	0,093285817	0,093274216	0,093053683	0,093498121	100	Yes	3,66578E-05	0,000181901
P L3 SU2	[bar]	0,786762037	0,786805496	0,786708008	0,786899872	100	Yes	0,000106882	0,052427091
V L3 SU2	[m/s]	0,096843571	0,096835103	0,096732781	0,096919174	100	Yes	3,44942E-06	0,000437502
P L4 SU2	[bar]	0,765306429	0,765355684	0,765240999	0,765478794	100	Yes	0,000110743	0,052314484
V L4 SU2	[m/s]	0,096252902	0,096163577	0,095991253	0,096376846	100	Yes	7,28417E-05	0,000198789
P L5 SU2	[bar]	0,766135252	0,766176623	0,766072175	0,766304594	100	Yes	0,000112463	0,05219777
V L5 SU2	[m/s]	0,099589239	0,099633248	0,099501345	0,099765038	100	Yes	3,25066E-05	0,000187274
P L6 SU2	[bar]	0,790464062	0,790506229	0,790393536	0,790632934	100	Yes	0,00011495	0,052140026
V L6 SU2	[m/s]	0,126158953	0,126218646	0,125992648	0,126576957	100	Yes	3,35308E-05	0,000397431
P L7 SU2	[bar]	0,808449998	0,808484861	0,808382768	0,808615586	100	Yes	0,000125703	0,052116886
V L7 SU2	[m/s]	0,122244796	0,121766892	0,12147483	0,122244796	100	Yes	2,37953E-05	0,000343773
P L1 SU1	[bar]	0,746145326	0,745963533	0,745617426	0,746241956	100	Yes	0,000504734	0,048156122
V L1 SU1	[m/s]	0,128772693	0,128787272	0,128699864	0,128889787	100	Yes	1,03659E-05	0,000282067
P L2 SU1	[bar]	0,761127305	0,760911318	0,760300265	0,761303815	100	Yes	0,000504932	0,048029717
V L2 SU1	[m/s]	0,132045788	0,13207353	0,131886278	0,132166253	100	Yes	2,00093E-05	0,000239628
P L3 SU1	[bar]	0,790979843	0,790739713	0,789835113	0,79116248	100	Yes	0,000491581	0,048150639
V L3 SU1	[m/s]	0,123349218	0,123359353	0,123226039	0,123469672	100	Yes	1,8579E-05	0,000453155
P L4 SU1	[bar]	0,820183754	0,819950082	0,819055148	0,820340094	100	Yes	0,000472524	0,048913739
V L4 SU1	[m/s]	0,124350759	0,124299526	0,124093237	0,124550847	100	Yes	5,70243E-05	0,00026825
P L5 SU1	[bar]	0,830615986	0,830385971	0,829502275	0,830783599	100	Yes	0,000456202	0,048871114
V L5 SU1	[m/s]	0,096067953	0,09597878	0,095798897	0,096135099	100	Yes	5,44765E-05	0,000116929
P L6 SU1	[bar]	0,943451335	0,943224519	0,942341295	0,943623031	100	Yes	0,000449505	0,04882378
V L6 SU1	[m/s]	0,093876558	0,093866262	0,093717141	0,093998449	100	Yes	0,000243958	0,000244757
P L7 SU1	[bar]	1,151727825	1,151501337	1,15061805	1,15189912	100	Yes	0,000439697	0,04881756
V L7 SU1	[m/s]	0,06322697	0,063166024	0,063123519	0,063248098	100	Yes	2,35569E-05	0,00019644
V anillo 1 SU2	[m/s]	0,061662528	0,061350894	0,061004865	0,061724383	100	Yes	2,50049E-05	0,000473266
V anillo 2 SU2	[m/s]	0,05532057	0,055276781	0,055155003	0,055386855	100	Yes	0,000108278	0,0002016
V anillo 3 SU2	[m/s]	0,057278728	0,057219253	0,057147026	0,057316314	100	Yes	6,46017E-05	0,000272504
V anillo 4 SU2	[m/s]	0,057684269	0,057709825	0,057675226	0,057753085	100	Yes	2,13001E-05	0,000309405
V anillo 5 SU2	[m/s]	0,046202276	0,046184375	0,046141756	0,046218485	100	Yes	1,00791E-05	0,000224409
V anillo 6 SU2	[m/s]	0,052871905	0,052794415	0,052711135	0,052880689	100	Yes	0,00010092	0,00022259
V anillo 7 SU2	[m/s]	0,05123298	0,05128655	0,051097203	0,051441246	100	Yes	3,67743E-05	0,000298987
V anillo 8 SU2	[m/s]	0,057602019	0,057596171	0,057455714	0,057692896	100	Yes	5,08111E-05	0,000432525
V anillo 9 SU2	[m/s]	0,046895273	0,046893286	0,04684889	0,046946661	100	Yes	2,43606E-05	0,000108157
V anillo 10 SU2	[m/s]	0,060039145	0,060016228	0,05987021	0,060160332	100	Yes	2,21587E-05	0,000410974
V anillo 11 SU2	[m/s]	0,053948682	0,053871509	0,053676146	0,05404971	100	Yes	0,000104752	0,000359546
V anillo 12 SU2	[m/s]	0,062161438	0,062155731	0,062103242	0,062235343	100	Yes	7,65794E-05	0,000432378
V anillo 13 SU2	[m/s]	0,050618466	0,050557309	0,050384899	0,050653055	100	Yes	1,05261E-05	0,000266454
V anillo 14 SU2	[m/s]	0,066349205	0,066201292	0,066072307	0,066382631	100	Yes	0,000310324	0,000441673
V anillo 15 SU2	[m/s]	0,050730047	0,050629634	0,050470535	0,050754058	100	Yes	9,63732E-06	0,00019134
V anillo 16 SU2	[m/s]	0,043910578	0,043968886	0,043846238	0,044117508	100	Yes	8,30628E-05	0,000161217
V anillo 17 SU2	[m/s]	0,059071867	0,059217353	0,058876457	0,059457042	100	Yes	4,14099E-05	0,000626255
V anillo 18 SU2	[m/s]	0,064106134	0,064048562	0,063913435	0,06418905	100	Yes	0,000151714	0,000415883
V anillo 19 SU2	[m/s]	0,061558261	0,061475739	0,061397621	0,061580548	100	Yes	2,04047E-05	0,000450281
V anillo 20 SU2	[m/s]	0,057111343	0,056952647	0,0564446	0,057265296	100	Yes	4,91156E-05	0,000309861
V anillo 21 SU2	[m/s]	0,055208271	0,055285196	0,055188823	0,055392404	100	Yes	7,22517E-05	0,000384401
V anillo 22 SU2	[m/s]	0,043163007	0,04317694	0,043124412	0,043221493	100	Yes	6,95025E-05	0,000229557
V anillo 23 SU2	[m/s]	0,066802788	0,066839797	0,066799126	0,066889755	100	Yes	1,55471E-05	0,000506702

Tabla 46. Resultados de la simulación en sensores generados automáticamente en SolidWorks (Continuación).

V anillo 1 SU1	[m/s]	0,056643105	0,056917655	0,056458031	0,057328873	100	Yes	2,12826E-05	0,000291095
V anillo 2 SU1	[m/s]	0,056967516	0,056868619	0,056726892	0,056985323	100	Yes	2,17329E-05	0,000174673
V anillo 3 SU1	[m/s]	0,058418624	0,058411267	0,058328983	0,058473669	100	Yes	2,33928E-05	0,000174703
V anillo 4 SU1	[m/s]	0,052018175	0,052106335	0,052011011	0,052204195	100	Yes	6,23151E-05	0,000250915
V anillo 5 SU1	[m/s]	0,059664494	0,059534899	0,058893766	0,060119831	100	Yes	3,5353E-05	0,000247142
V anillo 6 SU1	[m/s]	0,062476227	0,06261031	0,062439403	0,062773877	100	Yes	8,64608E-05	0,000324703
V anillo 7 SU1	[m/s]	0,054166725	0,054185339	0,054143719	0,054223891	100	Yes	1,87215E-06	0,000289078
V anillo 8 SU1	[m/s]	0,055654543	0,05567594	0,055652345	0,055706262	100	Yes	3,26947E-05	0,000263622
V anillo 9 SU1	[m/s]	0,063022078	0,063056242	0,062976139	0,063159361	100	Yes	9,52613E-05	0,00035567
V anillo 10 SU1	[m/s]	0,05673641	0,056795522	0,056709966	0,056868128	100	Yes	1,93121E-05	0,000418232
V anillo 11 SU1	[m/s]	0,05983566	0,059884168	0,05969676	0,060032278	100	Yes	4,0595E-05	0,00028897
V anillo 12 SU1	[m/s]	0,054462697	0,054404175	0,054315227	0,054469196	100	Yes	2,28549E-05	0,000126562
V anillo 13 SU1	[m/s]	0,054247491	0,054116785	0,053763961	0,054661716	100	Yes	6,33997E-05	0,000243891
V anillo 14 SU1	[m/s]	0,046605411	0,046639605	0,046573087	0,046727836	100	Yes	1,16468E-05	0,000129855
V anillo 15 SU1	[m/s]	0,059123619	0,05916966	0,059121815	0,059222349	100	Yes	1,36888E-05	0,000239129
V anillo 16 SU1	[m/s]	0,055911201	0,055912442	0,055889711	0,055934124	100	Yes	2,28631E-05	0,00028742
V anillo 17 SU1	[m/s]	0,056184817	0,056256096	0,056152005	0,056362328	100	Yes	7,70123E-05	0,000325733
V anillo 18 SU1	[m/s]	0,056816383	0,056801204	0,056751227	0,056834488	100	Yes	1,31565E-05	0,000231872
V anillo 19 SU1	[m/s]	0,060398644	0,060382696	0,060293105	0,060412343	100	Yes	6,20591E-05	0,000322492
V anillo 20 SU1	[m/s]	0,060829596	0,060970804	0,060778285	0,061149058	100	Yes	1,46457E-05	0,000595489
V anillo 21 SU1	[m/s]	0,058693866	0,058716992	0,05864475	0,058780654	100	Yes	1,56152E-05	0,000351618
V anillo 22 SU1	[m/s]	0,045858239	0,045584176	0,044946267	0,045949876	100	Yes	3,13827E-05	0,000101421
V anillo 23 SU1	[m/s]	0,051046638	0,050991683	0,050928516	0,051067898	100	Yes	0,000139382	0,00026491
V anillo 24 SU1	[m/s]	0,064000762	0,063949336	0,063693616	0,06412914	100	Yes	5,86268E-05	0,000347607
Presión válvula S1	[bar]	0,74643355	0,746248941	0,745906834	0,746524781	100	Yes	0,000504755	0,048186792
Presion final primaria	[bar]	0,921992799	0,922000896	0,921981418	0,922019722	100	Yes	2,99465E-06	0,052509955
Presión inicio primaria	[bar]	0,924000017	0,924000007	0,923999989	0,924000038	100	Yes	1,01766E-09	0,000183613
Presión secundaria S1	[bar]	0,913298676	0,913321471	0,913285587	0,913364873	100	Yes	1,19865E-05	0,052241898
Presión secundaria S2	[bar]	0,91815709	0,918158301	0,918122467	0,918199604	100	Yes	4,93138E-06	0,052396893
Presión válvula S2	[bar]	0,857446193	0,857476311	0,857403668	0,857555995	100	Yes	8,09409E-05	0,052680312
P anillo 1 SU2	[bar]	0,860936421	0,860962119	0,860886503	0,861040092	100	Yes	8,32632E-05	0,052645472
P anillo 2 SU2	[bar]	0,901557755	0,901583058	0,901506477	0,901662862	100	Yes	8,14647E-05	0,052588461
P anillo 3 SU2	[bar]	0,933890058	0,933913013	0,93383707	0,933981246	100	Yes	0,000102208	0,05257188
P anillo 4 SU2	[bar]	0,834968443	0,835001271	0,834911114	0,835083641	100	Yes	0,000106455	0,052523837
P anillo 5 SU2	[bar]	0,874203081	0,874231706	0,874137309	0,874315496	100	Yes	0,000136276	0,052475305
P anillo 6 SU2	[bar]	0,936673894	0,936702063	0,936622368	0,936777955	100	Yes	0,00015548	0,052461343
P anillo 7 SU2	[bar]	0,790679081	0,790725376	0,790629316	0,790819689	100	Yes	0,000108906	0,052411398
P anillo 8 SU2	[bar]	0,841938647	0,841984318	0,841880362	0,842078199	100	Yes	0,000124983	0,052367127
P anillo 9 SU2	[bar]	0,930019788	0,93005381	0,929940443	0,930156772	100	Yes	0,000149226	0,052357045
P anillo 10 SU2	[bar]	0,768609335	0,768660881	0,768544759	0,768783178	100	Yes	0,000107393	0,052295537
P anillo 11 SU2	[bar]	0,825219713	0,825278364	0,825165458	0,82540735	100	Yes	0,000108849	0,052249116
P anillo 12 SU2	[bar]	0,942298987	0,942362666	0,94226421	0,942504712	100	Yes	0,000159027	0,052237796
P anillo 13 SU2	[bar]	0,769428789	0,769469208	0,769363292	0,769595103	100	Yes	0,000116096	0,052179844
P anillo 14 SU2	[bar]	0,832307109	0,832351607	0,8322488	0,83247772	100	Yes	0,000130887	0,052132223
P anillo 15 SU2	[bar]	0,973324785	0,973370676	0,973268422	0,973496813	100	Yes	0,000149212	0,05212377
P anillo 16 SU2	[bar]	0,794116865	0,79415934	0,794049766	0,794281087	100	Yes	0,000117863	0,052118127
P anillo 17 SU2	[bar]	0,853651953	0,853707039	0,853591171	0,853836779	100	Yes	0,000128541	0,052035148
P anillo 18 SU2	[bar]	0,996416563	0,996479942	0,996370996	0,996608016	100	Yes	0,00013618	0,05198941
P anillo 19 SU2	[bar]	1,272326552	1,272388935	1,272279142	1,272518112	100	Yes	0,000153941	0,05198096
P anillo 20 SU2	[bar]	0,811387679	0,811424996	0,811323053	0,811558755	100	Yes	0,000124769	0,052090597
P anillo 21 SU2	[bar]	0,859523932	0,859546339	0,859445277	0,859679276	100	Yes	0,000148517	0,052023236
P anillo 22 SU2	[bar]	0,994478813	0,994503938	0,994402089	0,99463409	100	Yes	0,000160515	0,051983437
P anillo 23 SU2	[bar]	1,262113593	1,262137415	1,262035029	1,262269259	100	Yes	0,000171428	0,051974849

Tabla 46. Resultados de la simulación en sensores generados automáticamente en SolidWorks (Continuación).

P anillo 1 SU1	[bar]	0,748289255	0,748106156	0,747763497	0,748384994	100	Yes	0,000505982	0,048130042
P anillo 2 SU1	[bar]	0,800392088	0,800228228	0,799895241	0,800499604	100	Yes	0,000491813	0,04804378
P anillo 3 SU1	[bar]	0,915863869	0,915705882	0,915373502	0,915979021	100	Yes	0,000481884	0,047991884
P anillo 4 SU1	[bar]	1,14910769	1,148949581	1,148615328	1,149222858	100	Yes	0,000472328	0,047976961
P anillo 5 SU1	[bar]	0,765333767	0,765125666	0,764519043	0,765506131	100	Yes	0,000491057	0,048005907
P anillo 6 SU1	[bar]	0,827994825	0,827788453	0,827189427	0,828167445	100	Yes	0,000483604	0,047924351
P anillo 7 SU1	[bar]	0,946868915	0,946665661	0,946064131	0,947049257	100	Yes	0,00048185	0,047880424
P anillo 8 SU1	[bar]	1,167700379	1,167497965	1,166896055	1,167881148	100	Yes	0,000472298	0,047868439
P anillo 9 SU1	[bar]	0,794778973	0,794543215	0,793639105	0,794966716	100	Yes	0,000493958	0,048230205
P anillo 10 SU1	[bar]	0,86417787	0,863941524	0,863024693	0,864358211	100	Yes	0,000483681	0,048793902
P anillo 11 SU1	[bar]	1,009465883	1,009227901	1,008313497	1,009643706	100	Yes	0,000486586	0,048853721
P anillo 12 SU1	[bar]	1,234784372	1,234546421	1,233631322	1,234962538	100	Yes	0,000477789	0,048842651
P anillo 13 SU1	[bar]	0,825281768	0,825049012	0,824143284	0,825446381	100	Yes	0,000475112	0,04888666
P anillo 14 SU1	[bar]	0,910795689	0,910564175	0,909657669	0,91096238	100	Yes	0,000476211	0,048810765
P anillo 15 SU1	[bar]	1,077958509	1,077737252	1,076830272	1,078143544	100	Yes	0,000459882	0,048765007
P anillo 16 SU1	[bar]	1,268377647	1,268156697	1,267249796	1,268563461	100	Yes	0,000452411	0,048754295
P anillo 17 SU1	[bar]	0,839071693	0,838846089	0,837966581	0,839241578	100	Yes	0,000455669	0,04885556
P anillo 18 SU1	[bar]	0,928297478	0,92807595	0,927196373	0,928482843	100	Yes	0,000439827	0,048803943
P anillo 19 SU1	[bar]	1,06315587	1,062935102	1,062054993	1,063341771	100	Yes	0,000430767	0,048792745
P anillo 20 SU1	[bar]	0,954431286	0,954202462	0,953319274	0,954599797	100	Yes	0,000449774	0,048808124
P anillo 21 SU1	[bar]	1,069917191	1,069686382	1,068805888	1,070086484	100	Yes	0,000447276	0,048754447
P anillo 22 SU1	[bar]	1,195667855	1,195420915	1,194545533	1,195834212	100	Yes	0,000425728	0,048741776
P anillo 23 SU1	[bar]	1,162550769	1,162323951	1,161440126	1,162722169	100	Yes	0,000437656	0,048807866
P anillo 24 SU1	[bar]	1,279086859	1,278859919	1,277980792	1,279261375	100	Yes	0,000428699	0,048786818

Para cada resultado se genera también una gráfica en la que se presenta el comportamiento transitorio de la variable antes de alcanzar el estado estable, como se muestra en las Figura 103 y Figura 104 para la velocidad y presión al inicio de la primera línea lateral de la subunidad 2.

Figura 103. Comportamiento de la velocidad en la línea lateral 1 de la subunidad 2.

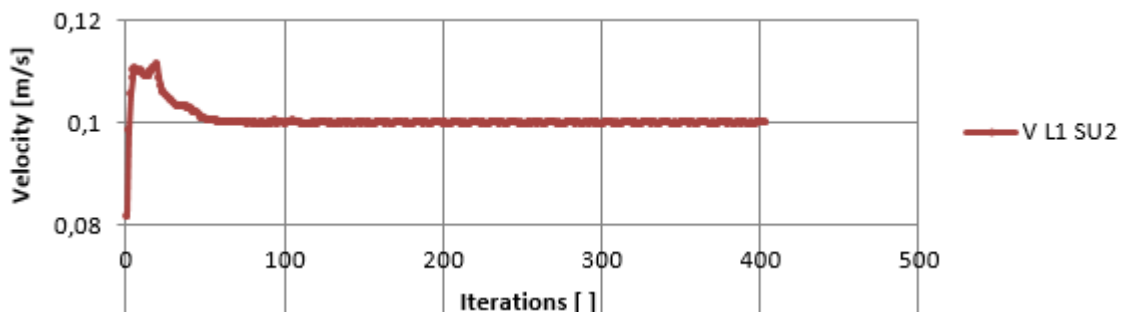
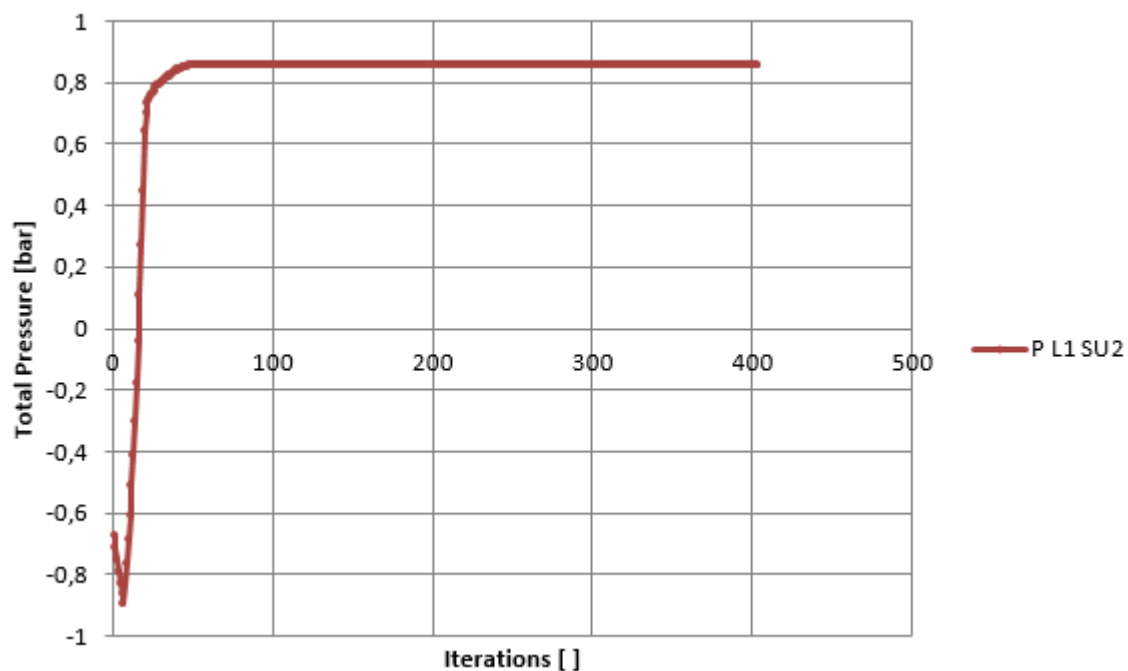


Figura 104. Comportamiento de la presión en la línea lateral 1 de la subunidad 2.



La comparación de los resultados obtenidos en la simulación y los cálculos teóricos se muestra en la Tabla 47.

Tabla 47. Comparación de resultados simulación vs cálculos teóricos.

	Tubería	Velocidad [m/s]		Desviación de Resultados	Presión en el origen [bar]		Desviación de Resultados	
		Cálculos teóricos	Simulación		Cálculos teóricos	Simulación		
Unidad de Riego	Primaria	0,5496	0,5692	3,6%	0,9245	0,9240	0,1%	
	Secundaria	Ramal 1	0,2807	0,2875	2,4%	0,9205	0,9181	0,3%
		Ramal 2	0,2690	0,2767	2,9%			
SubUnidad de Riego 1	Terciaria	0,2807	0,2833	0,9%	0,7500	0,7462	0,5%	
	Lateral	L1 a L4	0,1155	0,1179	2,1%	0,7650	0,7794	1,9%
		L5 y L6	0,0866	0,0896	3,4%	0,8400	0,8868	5,6%
		L7	0,0578	0,0592	2,5%	0,9150	1,0015	9,5%
	Sublateral	0,0289	0,0268	7,2%	1,0000	0,9914	0,9%	
SubUnidad de Riego 2	Terciaria	0,2690	0,2775	3,2%	0,8573	0,8575	0,0%	
	Lateral	L1 a L5	0,0866	0,0892	2,9%	0,8400	0,8016	4,6%
		L6 y L7	0,1155	0,1175	1,7%	0,7650	0,7995	4,5%
	Sublateral	0,0289	0,0268	7,2%	1,0000	0,9070	9,3%	

Los resultados obtenidos a partir de la simulación muestran:

- Los valores de desviación respecto a los resultados calculados teóricamente son inferiores al 10% tanto para velocidad como presión, verificando el alto grado de convergencia en la simulación y la inexistencia de singularidades en el mallado.
- Diferente a los cálculos teóricos, los valores de presión en el origen de las líneas sublaterales en el sistema no se mantienen cercanos a 1 [bar] para todos los casos. La presión oscila en un rango de 0,74 a 1,28 [bar] en la subunidad 1 y 0,77 a 1,27 [bar] en la subunidad 2, lo que no representa un motivo de preocupación para garantizar el correcto funcionamiento de los goteros Netafim™ PCJ gracias a su característica autocompensante, que asegura una distribución de caudal uniforme para un rango establecido de presiones de trabajo desde 0,5 hasta 4 [bar] (véase *Anexo B. Gotero PCJ – Extracto catálogo Netafim™*).
- Las cotas altimétricas en el terreno del cultivo de guanábana modelado generan un aumento de presión en las líneas laterales de 1,28 [bar] superior al estimado durante los cálculos de 1 [bar], validando el funcionamiento por gravedad del sistema de riego por goteo.
- Los modelos de tubería seleccionados para cada una de las líneas validan el correcto funcionamiento del sistema, garantizando una distribución uniforme de agua durante el riego y asegurando los límites de velocidad en la conducción.

## 5. CONCLUSIONES

--- Se estructuró información pertinente a requerimientos de diseño y selección de sistemas de riego, agricultura de precisión y técnicas de diseño paramétrico en software CAD.

--- Se desarrolló el modelo 3D CAD en SolidWorks de los componentes de un sistema de riego aplicando técnicas de diseño paramétrico tales como familias de piezas, sistemas de ecuaciones y tablas de diseño teniendo en cuenta los parámetros hidráulicos.

--- Se realizó el modelado 3D CAD del terreno de aplicación del cultivo de guanábana a partir de cuatro procesos llevados a cabo mediante los software: Google Earth Pro para localización, delimitación y extracción de la información geográfica; Global Mapper para la generación y guardado de las curvas de nivel del terreno en base a los datos geográficos extraídos; AutoCAD para la extracción y guardado de todas las coordenadas X,Y,Z en las curvas de nivel; y SolidWorks para la generación del modelo 3D CAD de la superficie del terreno mediante el complemento ScanTo3D.

--- Se diseñó agrónomica e hidráulicamente el sistema de riego por goteo para la disposición de anillos en función de las condiciones topográficas de la finca Villa María y los requerimientos del cultivo de guanábana.

--- Se diseñó agrónomicamente el sistema de riego por goteo para el cultivo de guanábana de la finca Villa María calculando las necesidades, dosis y variables generales de riego, mediante la aplicación de la agricultura de precisión a fin de asegurar que a cada árbol se le suministre sólo la cantidad de agua necesaria para su correcto crecimiento y desarrollo radicular.

--- Se obtuvo en el diseño agronómico fundamentado en la agricultura de precisión que la dosis bruta de riego para cada árbol de guanábana es de 15 galones, administrada en un tiempo de aplicación de 3 horas y 27 minutos mediante cuatro goteros con caudal de 4 L/h en un intervalo entre riegos de 8 días, generando un contraste significativo respecto a la dosis bruta empírica usada actualmente de 10 galones en un intervalo entre riegos de 4 días, lo cual contribuye al aprovechamiento racional de los recursos naturales mediante la conservación del agua.

--- Se estableció que el sistema de riego más adecuado para el cultivo de guanábana es por goteo ya que facilita factores como: uniformidad de riego, instalación de alta calidad, suministro efectivo y capacidad hidráulica.

--- Se encontró que existen tres disposiciones comúnmente usadas para el correcto desarrollo radicular en los árboles de guanábana: disposición de anillos, doble lateral y de zigzag; así mismo, se determinó que la disposición idónea es la de anillos, debido a que responde al equilibrio entre los siguientes factores:

- La longitud total de la tubería empleada en las líneas laterales y/o sublaterales (porta goteros) vinculada a la viabilidad económica.
- La practicidad en las actividades relacionadas con el mantenimiento del cultivo como el suministro de abono, podas y polinización.
- La altura del tanque de almacenamiento de agua.

--- Se obtuvo en el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo que:

- Para facilitar las actividades de irrigación el cultivo se divide en dos subunidades de riego, una con 24 y la otra con 23 árboles.
- Se precisan cuatro goteros auto compensados por árbol de 4 L/h.
- Una altura mínima de funcionamiento de 19,8 metros.

- Un tanque de almacenamiento Rotoplast de 10000 litros que asegura tres semanas de labores de riego.

--- Se desarrolló una aplicación titulada “PROGRAMA DE CÁLCULO – CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA” en Microsoft Excel mediante VBA (Visual Basic para Aplicaciones) para automatizar el proceso de cálculo agronómico e hidráulico en el diseño del sistema de riego por goteo, apoyada en la vinculación de los software Engineering Equation Solver (EES) y SolidWorks, facilitando información relevante al usuario y el aprovechamiento en la transferencia de tecnologías.

--- Se implementaron las siguientes técnicas de diseño paramétrico en el modelado 3D CAD de los componentes del sistema de riego por goteo: ecuaciones, tablas de diseño y familia de piezas; se parametrizaron los accesorios (conectores en T, codos, inicios de línea, reductores, tapones y válvulas) y filtro en función de los diámetros nominales de los modelos de tubería Netafim™ PE estándar; además, debido a que el gotero se parametrizó a partir de las dimensiones de pasajes de agua para cada caudal disponible, se realizaron modelos para dos diámetros nominales (16 y 20 mm) de tuberías recomendadas en las líneas sublaterales.

--- Se evidenció la importancia del diseño paramétrico debido a que facilita el proceso iterativo del cálculo y modelado 3D CAD a partir de la vinculación de parámetros; permitiendo el estudio agronómico, hidráulico, analítico y económico de diferentes sistemas de riego aplicables al cultivo, mediante la generación automática de resultados a causa de variaciones en las condiciones de entrada, de manera que es posible realizar los análisis pertinentes sin necesidad de reiniciar el proceso de cálculo.

--- Se evaluó el funcionamiento del sistema de riego por goteo para la disposición de anillos mediante simulaciones de flujo y presión de la unidad, subunidades y líneas críticas de riego; y se observó que los resultados de velocidad y presión en el fluido son congruentes con los valores procedentes de los cálculos hidráulicos.

--- Se diseñó un sistema de riego mediante la implementación de técnicas de diseño paramétrico aplicado en agricultura de precisión contribuyendo al aprovechamiento racional de los recursos naturales mediante la conservación del agua con una reducción de 5 galones por árbol en cada semana de labores de riego; y aprovechando la transferencia de tecnologías a través del desarrollo de la aplicación “PROGRAMA DE CÁLCULO – CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA”.

## BIBLIOGRAFÍA

ALBIS PÉREZ, Ingrid P. Se acaba el agua en Lebrija, Santander. [En línea]. En: Vanguardia Liberal. Bucaramanga. 2018. (Recuperado en 11 junio 2019). Disponible en: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/giron/se-acaba-el-agua-en-lebrija-santander-OCVL453409>

ALCALDÍA DE LEBRIJA, SANTANDER. EOT: Documento resumen. [En línea]. Lebrija, Santander [2003]. (Recuperado en 21 de septiembre de 2019). Disponible en: <http://www.lebrija-santander.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Resumen%20EOT%20final.pdf>.

ARRIAGA, Pedro. La medida de la precipitación. [En línea]. Meteorología. Madrid.: iAgua. 2015. (Recuperado en 25 junio 2020). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/pedro-arriaga/medida-precipitacion>

BANCO MUNDIAL. El agua en la agricultura. [En línea]. (Recuperado en 11 junio 2019). Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#1>

CAD AVSHMEIP. Configuraciones mediante tablas de diseño “SolidWorks CAD”. [En línea]. En: Blog SolidWorks LATAM y España, 2019. (Recuperado en 25 de agosto de 2020). Disponible en: <https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/solidworks/tablas-de-diseno-solidworks-cad/>

CASTILLA, José David. Cultivos de guanábana para producción suman casi 5000 hectáreas. [En línea]. Agronegocios. Bogotá D.C.: La República. 2019. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en:

<https://www.agronegocios.co/agricultura/cultivos-de-guanabana-para-produccion-suman-casi-5000-hectareas-2857876>

COMPANY CALLEJA, Pedro y DORRIBO CAMBA, Jorge. CAD 3D con SolidWorks Tomo II: Diseño avanzado. [En línea] Universitat Jaume I, 2018. (Recuperado en: 25 de agosto de 2020). Disponible en: <https://issuu.com/universitatjaumei/docs/sapientia145a>

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, CORPOICA. Manejo integrado del cultivo de guanábana: innovaciones tecnológicas. El espinal: Publicación Corpoica, p.16-61. [En línea]. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6765>

DEFINICIÓN ABC. Definición de Visual Basic. [En línea]. 2009. (Recuperado en 29 enero 2020). Disponible en: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/visual-basic.php>

EDICIONES ENI. Vínculos entre aplicaciones: el protocolo DDE. [En línea]. En: VBA Excel 2007 – Programar en Excel Macros y Lenguaje VBA. (Recuperado en 12 de agosto de 2020). Disponible: <https://www.ediciones-eni.com/open/mediabook.aspx?idR=c40da974bc7e277814e452354c109d14>

EL ESPECTADOR. La población mundial podría alcanzar los 10.000 millones en 2050. [En línea]. En: Actualidad, 2018. (Recuperado en 11 junio 2019). Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/actualidad/la-poblacion-mundial-podria-alcanzar-los-10000-millones-en-2050-articulo-799298>

ENGINEERING EQUATION SOLVER, EES. MoodyChart: Function Info. En: Function Information, EES library routines, Moody.LIB.

EVANS, Robert G., WU, I-Pai y SMAJSTRALA, Allen G. Chapter 17 Microirrigation systems. En: HOFFMAN, Glenn., *et al.* Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2nd edition. USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, ASABE, 2007. p. 632-677. ISBN 1-892769-64-6.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. System design. En: Handbook on pressurized irrigation techniques. 2nd edition. Rome.: Electronic publishing policy and support branch, 2007. ISBN 978-92-5-105871-6.

FUENTES YAGÜE, José Luis y GARCÍA LEGASPI, Guillermo. Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México D.F.: Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., 1999. 473p.

HEMCEMTER. Rotoplast: tanque 10000 litros. [En línea]. (Recuperado en 1 de julio de 2020). Disponible en: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/204584/tanque-10000-litros>

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. Problemas fitosanitarios del cultivo de Guanábana *Annona muricata L.* en temporada invernal en el norte del departamento de Bolívar. [En línea]. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <https://www.ica.gov.co/getattachment/8543e9a0-a5bf-4228-9f0c-fb50b009eaff/Problemas-fitosanitarios-del-cultivo-de-Guanabana.aspx>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA, IDEAM. Consulta: Descarga datos hidrometeorológicos. [En línea]. (Recuperado en 30 septiembre 2019). Disponible en: [dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/](http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/)

IRUELA, Juan. Qué es VBA. [En línea] En: Revista digital Inesem. 2016. (Recuperado en: 3 de agosto de 2020). Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/informatica-y-tics/que-es-vba/>

LASSO ESPINOSA, Luis D. Ministerio de Agricultura: Zonificación Agroclimática de los cultivos de mayor importancia económica del territorio colombiano. [En línea]. Bogotá, Colombia [1991]. (Recuperado en 21 de septiembre del 2019). Disponible en internet: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3817/1/010.pdf>.

LÓPEZ, Joaquín Mauricio. La guanábana nacional llegaría a 60000 toneladas producidas al cierre de este año. [En línea]. Agronegocios. Bogotá D.C.: La República. 2019. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-guanabana-nacional-llegaria-a-60000-toneladas-producidas-al-cierre-de-este-ano-2844095>

MÁRQUEZ CARDOZO, Carlos Julio. Caracterización fisiológica, físico-química, reológica, nutraceútica, estructural y sensorial de la guanábana. Tesis Doctoral en Ciencias, mención en Ciencias Agronómicas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2009, 274 p.

MERKEL, Alexander. Clima Lebrija. [En línea]. Oedheim, Alemania. (Recuperado en 17 de septiembre del 2019). Disponible en internet: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/santander/lebrija-6246/>.

MICROSOFT OFFICE. Automatizar tareas con la grabadora de macros. [En línea]. (Recuperado en 29 enero 2020). Disponible en: <https://support.office.com/es-es/article/automatizar-tareas-con-la-grabadora-de-macros-974ef220-f716-4e01-b015-3ea70e64937b>

MICROSOFT OFFICE. Inicio rápido: Crear una macro. [En línea]. (Recuperado en 29 enero 2020). Disponible en: <https://support.office.com/es-es/article/inicio-rápido-crear-una-macro-741130ca-080d-49f5-9471-1e5fb3d581a8>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR. El agro colombiano se consolidó como el motor de la economía nacional. [En línea]. En: Noticias. Bogotá D.C. 2018. (Recuperado en 11 junio 2019). Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-agro-colombiano-se-consolid%C3%B3-como-el-motor-de-la-econom%C3%ADa-nacional.aspx>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR. Reporte: Área, producción, rendimiento y participación municipal en el departamento por cultivo. [En línea]. En: Agronet. 2018. (Recuperado en 20 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>

MIRANDA LASPRILLA, Diego. Manejo agronómico del cultivo de guanábana. [En línea]. 1995. (Recuperado en 05 octubre 2018). Disponible en: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/21323/77727\\_59875.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/21323/77727_59875.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

MONGE REDONDO, Miguel Ángel. Conducciones por gravedad a sección llena. [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgua. 2019. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/conducciones-gravedad-seccion-llena>

MONGE REDONDO, Miguel Ángel. Exponente de descarga de un gotero: cómo calcular su valor. [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgua. 2016. (Recuperado en 29 noviembre 2019). Disponible

en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/exponente-descargagotero-como-calculador-valor>

MONGE REDONDO, Miguel Ángel. Presiones de diseño en unidades de riego por goteo. [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgua. 2018. (Recuperado en 29 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/presiones-diseno-unidades-riego-goteo>

MONGE REDONDO, Miguel Ángel. ¿Por qué no al final? [En línea]. Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid.: iAgua. 2019. (Recuperado en 29 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/que-no-al-final>

MUNICIPIO DE LEBRIJA. Economía. [En línea]. 2016. (Recuperado en 11 junio 2019). Disponible en: <http://www.lebrija-santander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>

NETAFIM. Acerca de Nosotros. [En línea]. (Recuperado en 13 noviembre 2019). Disponible en: [https://www.netafim.com/en/Netafim-irrigation-company\\_about-us/](https://www.netafim.com/en/Netafim-irrigation-company_about-us/)

NETAFIM. Connectors: product catalog. [En línea]. 2019.V1.0 (Recuperado en 1 de julio de 2020). Disponible en: <https://www.netafim.com/ru-ru/bynder/E339DA30-A6A5-4BA2-B7212E137F9DDD73-global-connectors-catalog.pdf>

NETAFIM. Dripper lines, drippers & other emitters. [En línea]. En: Drippers and drip lines, product catalog, volume. 1, 2019. p. 78 - 82. (Recuperado en 13 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.netafim.com/en/products-and-solutions/product-offering/drip-irrigation-products/>

NETAFIM. Líneas de goteo y goteros. [En línea]. (Recuperado en 13 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.netafim.com/en/products-and-solutions/product-offering/drip-irrigation-products/>

NETAFIM. Tubería flexible para riego de precisión. [En línea]. (Recuperado en 13 noviembre 2019). Disponible en: <https://www.netafim.com/en/products-and-solutions/product-offering/flexible-and-pe-pipes/>

NETAFIM™ México. Curso en línea filtros Netafim – La línea de defensa que protege tu sistema de riego [vídeo]. México: YouTube, Netafim México Oficial. (19 de mayo de 2020). 1:03:50 minutos. (Recuperado en 1 de julio de 2020). Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=x9aRELf41\\_A&t=2496s](https://www.youtube.com/watch?v=x9aRELf41_A&t=2496s)

NETAFIM. Drip irrigation handbook: understanding the basics. [En línea]. (Recuperado en 1 de julio de 2020). Disponible en: <https://www.netafim.com/499749/globalassets/products/drippers-and-dripperlines/drip-irrigation-system-handbook.pdf>

NETAFIM. Filtros de anillos manuales. [En línea]. (Recuperado en 1 de julio de 2020). Disponible en: <https://www.netafim.com.mx/bynder/8844F4CA-58A7-440B-A856B283B56AAC63-manual-ring-filters-one-page-pdf---spa.pdf>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. El desarrollo del microrriego en américa central. [En línea]. En: Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado, p.29-35. (Recuperado en 21 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/aj470s/aj470s02.pdf>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego.

[En línea]. En: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), 2007, p. 59-67. (Recuperado en 11 septiembre 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

ORTEGA GAUCIN, David. Hidrometría básica aplicada a la operación de distritos y unidades de riego. México. Instituto del Agua del Estado de Nuevo León, 2012. 82 p. ISBN: 978-607-9203-04-7

PEÑA ESCOBAR, Miguel Ángel. Modelado sólido de engranajes rectos no estándar usando la API SDK SolidWorks 2010. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, 2011, 170 p.

RODRIGUEZ, Antonio. et al. Una mirada al manejo del cultivo de la guanábana (*Annona muricata* L.). [En línea]. En: El fruticultor. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. La Habana.: Revista CitriFrut, Vol. 27, No. 1. 2010. (Recuperado en 05 octubre 2019). Disponible en: [http://www.actaf.co.cu/revistas/revista\\_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA10\\_27\\_1\\_%202010.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA10_27_1_%202010.pdf)

SOLIDWORKS. Por qué SolidWorks Flow Simulation es la opción perfecta para los ingenieros de producto. [En línea]. (Recuperado en: 10 de septiembre de 2020). Disponible en: <https://www.solidworks.com/es/media/solidworks-flow-simulation-right-choice-product-engineers>

SORIANO AGÜERA, José. Ecuaciones fundamentales de un flujo. [En línea]. 2011. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: <http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/fluidos%203.pdf>

TIGRE. Polietileno. [En línea] En: Manual técnico. 2011. (Recuperado en 17 febrero 2020). Disponible en: <https://www.tigre.com.ar/themes/tigre2016/download>

s/catalogos-tecnicos/argentina/catalogo-pehd.pdf

TIWARI, K., y RAJPUT, T. Micro Irrigation Systems Design. UG Courses - Agricultural Engineering, Lesson 5 Components of Micro Irrigation System (MIS). [En línea]. Kharagpur.: Indian Institute of Technology Kharagpur, 2014. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=124907>.

UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Open Course Ware: Ingeniería Agroforestal, Hidráulica y Riegos, Tema 2: Conducciones forzadas. [En línea]. Sevilla.: Universidad de Sevilla, 2007. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%202.Conducciones%20forzadas/tutorial\\_18.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%202.Conducciones%20forzadas/tutorial_18.htm)

UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Open Course Ware: Ingeniería Agroforestal, Hidráulica y Riegos, Tema 10: Riego goteo. [En línea]. Sevilla.: Universidad de Sevilla, 2007. (Recuperado en 04 diciembre 2019). Disponible en: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial\\_14.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_14.htm)

UNIVERSITAT JAUME I. Tema 2 Riego por goteo: Fundamentos del diseño. Ingeniería técnica agrícola, Área mecánica de fluidos, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Castellón de la Plana.

UNIVERSITAT JAUME I. Tema 3 Riego por goteo: Fundamentos hidráulicos. Ingeniería técnica agrícola, Área mecánica de fluidos, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Castellón de la Plana.

## Anexo A. Cálculo de la precipitación confiable

La Tabla A-1 resume los datos promedios mensuales y totales anuales de precipitación otorgados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) presentados en la Tabla 14.

Tabla A-1. Datos de precipitación promedio mensual y total anual

Promedios mensuales de precipitación [mm]		Precipitación total anual [mm]	
Enero	40,29	2010	1572,5
Febrero	91,36	2011	1513,7
Marzo	86,74	2012	1320,8
Abril	92,16	2013	1263,5
Mayo	130,19	2014	1097,8
Junio	77,93	2015	675,1
Julio	79,93	2016	909,5
Agosto	107,44		
Septiembre	78,11		
Octubre	181,21	<b>Promedio</b>	<b>1193,27</b>
Noviembre	134,53		
Diciembre	93,39		

**Paso 1. Cálculo del Índice de precipitación ( $I_p$ ).** Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$I_p = P/\bar{P} \quad \text{Ecuación A.1}$$

donde  $P$  es la precipitación total anual en [mm] y  $\bar{P}$  el promedio de precipitación total anual en [mm].

**Paso 2. Cálculo de la probabilidad de ocurrencia ( $P_r$ ).** Mediante la fórmula de Hazen:

$$P_r = \frac{2 \times m - 1}{2 \times N} \times 100 \quad \text{Ecuación A.2}$$

donde  $m$  es el número de orden de cada valor de precipitación total anual en [mm] y  $N$  es el número total de años de la serie de datos, que en este caso es  $N = 7$ .

Los datos de precipitación total anual en [mm] deben ordenarse de mayor a menor valor. Los resultados del Paso 1 y 2 se consignan en la Tabla A-2.

Tabla A-2. Probabilidad de ocurrencia

Nº de orden	Precipitación total anual [mm]	Índice de precipitación ( $I_p$ )	Probabilidad de ocurrencia ( $P_r$ ) [%]
1	1572,5	1,318	7,1
2	1513,7	1,269	21,4
3	1320,8	1,107	35,7
4	1263,5	1,059	50,0
5	1097,8	0,920	64,3
6	909,5	0,762	78,6
7	675,1	0,566	92,9

**Paso 3. Cálculo del Índice de precipitación ( $I_p$ ) al 70% de ocurrencia.** Según la expresión:

$$I_p \text{ buscado} = I_p \text{ mayor} - \frac{P_r \text{ buscado} - P_r \text{ menor}}{P_r \text{ mayor} - P_r \text{ menor}} \times (I_p \text{ mayor} - I_p \text{ menor}) \quad \text{Ecuación A.3}$$

Teniendo en cuenta que  $P_r \text{ buscado} = 70$  (según lo especificado en la Sección 3.2.2.1 – Paso 1) y los datos de la Tabla A-2, se calcula el índice de precipitación al 70% de ocurrencia mediante la Ecuación A.3.

$$I_p \text{ buscado} = 0,92 - \frac{70 - 64,3}{78,6 - 64,3} \times (0,92 - 0,762)$$

$$I_p \text{ buscado} = 0,857$$

**Paso 4. Cálculo de la precipitación mensual confiable al 70%.** La precipitación mensual confiable al 70% se obtiene multiplicando los valores promedios mensuales de precipitación en [mm] por el índice de precipitación al 70% de ocurrencia. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla A-3.

Tabla A-3. Precipitación mensual confiable al 70%

	Promedios mensuales de precipitación [mm]	Índice de precipitación al 70%	Precipitación mensual confiable al 70% (Ppt. 70%)
Enero	40,29	0,857	34,53
Febrero	91,36		78,30
Marzo	86,74		74,34
Abril	92,16		78,98
Mayo	130,19		111,57
Junio	77,93		66,79
Julio	79,93		68,50
Agosto	107,44		92,08
Septiembre	78,11		66,94
Octubre	181,21		155,30
Noviembre	134,53		115,29
Diciembre	93,39		80,04

## Anexo B. Gotero PCJ - Extracto catálogo Netafim™

A continuación, se presenta la información correspondiente al gotero **PCJ** del fabricante **Netafim™**. Toda la información recopilada y traducida al español fue tomada del catálogo *NETAFIM. Dripper lines, drippers & other emitters. Product catalog, vol.1, 2019. p. 128-129.*

---

### PCJ

#### GOTERO EN LÍNEA, AUTOCOMPENSADO, DE AUTO LIMPIEZA CONTINUA

---



#### APLICACIONES

- Invernaderos, viveros y cítricos.
- Huertas, árboles caducifolios y riego de árboles frutales.

#### CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- Auto compensante: suministra cantidades precisas de agua en un amplio rango de presión. Uniformidad del 100% de distribución de agua y nutrientes a lo largo de las líneas laterales.
- Autolimpieza continua: descarga de residuos continua durante operación, no sólo al inicio o final de un ciclo, asegurando el funcionamiento ininterrumpido.
- El laberinto TurboNet™ asegura amplios pasajes de agua, una sección transversal profunda y ancha mejora la resistencia a las obstrucciones.
- El gotero PCJ se puede posicionar exactamente donde sea necesario.
- Se puede aumentar el número de goteros para incrementar el suministro de agua con el fin de satisfacer los requisitos hídricos durante el crecimiento de los árboles.
- Permite la instalación de un “montaje de araña” dividiendo el suministro de salida de agua del gotero en varias salidas de goteo.

#### ESPECIFICACIONES

- Filtración recomendada: de acuerdo con los caudales de los goteros. El método de filtración se debe seleccionar en función del tipo y la concentración de las partículas de suciedad existentes en el agua. Donde exista arena superior a 2 [ppm] en el agua, se instalará un hidrociclón antes del

filtro principal. Cuando los sólidos de arena/limo/arcilla exceden los 100 [ppm], el pretratamiento se aplicará de acuerdo con las instrucciones del equipo de expertos de Netafim™.

--- Laberinto TurboNet™ con gran paso de agua.

--- Dispuesto para "insertarse" en líneas de paredes gruesas (0.9, 1.0 y 1.2 [mm]).

--- Gotero construido por inyección, muy bajo CV.

--- Alta resistencia a los rayos UV. Resistente a los nutrientes (fertilizantes) de uso en la agricultura.

--- Los goteros en línea PCJ cumplen con las normas ISO 9261 con producción certificada por el Instituto de Normas de Israel (SII).

## GOTEROS - DATOS TÉCNICOS

### Goteros PCJ

CAUDAL(*) [L/h]	RANGO PRESIÓN DE TRABAJO [bar]	DIMENSIONES DEL PASAJE DE AGUA [mm]			AREA DE FILTRACIÓN [mm <sup>2</sup> ]	CONSTANTE K	EXPONENTE X
		ANCHO	PROFUNDO	LONGITUD			
1,2		0,67	0,77	35	2,0	1,2	0
2,0		0,98	0,79	35	2,0	2,0	0
3,0	0,5 - 4,0	1,03	1,07	35	2,0	3,0	0
4,0		1,32	0,92	35	2,0	4,0	0
8,0		1,60	1,08	35	2,0	8,0	0

(\*) Dentro del rango de presión de trabajo.

## Anexo C. Cálculo del Coeficiente de Christiansen

Se le denomina Coeficiente reductor o Coeficiente de Christiansen a la suma de la serie de pérdidas en toda la conducción con consumos intermedios. La determinación de este valor es fundamental en el cálculo de las pérdidas de carga totales en las tuberías que presentan la característica de consumos intermedios, como es el caso de las líneas sub laterales, laterales y terciarias.

A continuación, se presentan los pasos para calcular el Coeficiente de Christiansen en cada una de estas tuberías.

### C.1. Cálculo del Coeficiente de Christiansen en tuberías sub laterales

**Paso 1: Coeficiente adimensional ( $\beta_{SL}$ ).** Valores prácticos del coeficiente adimensional se presentan en función del material de las tuberías según la Universidad de Sevilla (véase Sección 2.5.2.4). Debido a que las tuberías sub-laterales seleccionadas son de polietileno (PE), les corresponde:

$$\beta_{SL} = 1,75$$

**Paso 2: Coeficiente de Christiansen ( $F_{c,SL}$ ).** Teniendo en cuenta que todas las líneas sub laterales cuentan con cuatro goteros incorporados, el cálculo del Coeficiente de Christiansen se realiza mediante la Ecuación 2.26, así:

$$F_{c,SL} = \frac{1}{1+\beta_{SL}} \times \frac{1}{2 \times N_{goteros}} \times \frac{(\beta_{SL}-1)^{1/2}}{6 \times (N_{goteros})^2} = \frac{1}{1+1,75} \times \frac{1}{2 \times 4} \times \frac{(1,75-1)^{1/2}}{6 \times (4)^2}$$
$$F_{c,SL} = 0,4977 \text{ [adimensional]}$$

Este valor aplica para las tuberías sub laterales de ambas subunidades.

## C.2. Cálculo del Coeficiente de Christiansen en tuberías laterales

**Paso 1: Coeficiente adimensional ( $\beta_L$ ).** Según lo mencionado anteriormente, como las tuberías laterales seleccionadas son de polietileno (PE) les corresponde:

$$\beta_L = 1,75$$

**Paso 2: Coeficiente de Christiansen ( $F_{c,L}$ ).** Los consumos intermedios en las tuberías laterales se deben a las líneas sub laterales; debido a esto, el cálculo del Coeficiente de Christiansen se lleva a cabo mediante la Ecuación 2.26 modificada, como se muestra para el caso en el que existen dos líneas sub laterales en la tubería lateral:

$$F_{c,L} = \frac{1}{1+\beta_L} \times \frac{1}{2 \times N_{sublat}} \times \frac{(\beta_L-1)^{1/2}}{6 \times (N_{sublat})^2} = \frac{1}{1+1,75} \times \frac{1}{2 \times 2} \times \frac{(1,75-1)^{1/2}}{6 \times (2)^2}$$

$$F_{c,L} = 0,6497 \text{ [adimensional]}$$

Siguiendo el mismo procedimiento es posible determinar el Coeficiente de Christiansen para cada una de las catorce líneas laterales presentes en todo el sistema de riego. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla C-1.

Tabla C-1. Coeficiente de Christiansen en tuberías laterales.

Subunidad	Nombre de los Laterales	Número de sublaterales presentes en cada lateral [sublaterales]	Coeficiente de Christiansen [adimensional]
1	1, 2, 3, 4	4	0,4977
	5, 6	3	0,5463
	7	2	0,6497
2	1, 2, 3, 4, 5	3	0,5463
	6, 7	4	0,4977

### C.3. Cálculo del Coeficiente de Christiansen en tuberías terciarias

**Paso 1: Coeficiente adimensional ( $\beta_T$ ).** Según lo mencionado anteriormente, como las tuberías terciarias seleccionadas son de polietileno (PE), les corresponde:

$$\beta_T = 1,75$$

**Paso 2: Coeficiente de Christiansen ( $F_{c,T}$ ).** Teniendo en cuenta que las dos tuberías terciarias presentes en el sistema de riego cuentan con siete líneas laterales cada una, el cálculo del Coeficiente de Christiansen se realiza mediante la Ecuación 2.35, así:

$$F_{c,T} = \frac{1}{1+\beta_T} \times \frac{1}{2 \times N_{later}} \times \frac{(\beta_T-1)^{1/2}}{6 \times (N_{later})^2} = \frac{1}{1+1,75} \times \frac{1}{2 \times 7} \times \frac{(1,75-1)^{1/2}}{6 \times (7)^2}$$
$$F_{c,T} = 0,4380 \text{ [adimensional]}$$

Este valor aplica para la tubería terciaria presente en cada subunidad de riego.

## Anexo D. Cálculo de la pérdida de carga por fricción en tuberías.

Las pérdidas de carga por fricción en tuberías de sistemas de riego se determinan a partir de la ecuación de Darcy - Weisbach:

$$h_f = \frac{1}{12,1} \times \frac{f \times Longitud \times (\dot{Q})^2}{(D_{interior})^5} \quad \text{Ecuación D.1}$$

donde  $h_f$  es la pérdida de carga en [mca], (1 / 12,1) es un valor constante resultado de la transformación de la ecuación expresada en términos de la velocidad correspondiente a  $(8 / g\pi^2)$ ,  $f$  es el factor de fricción de Darcy [adimensional],  $Longitud$  es la longitud de la tubería [m],  $\dot{Q}$  es el caudal en la tubería [ $m^3/s$ ] y  $D_{interior}$  es el diámetro interior de la tubería [m].

**Paso 1: Factor de fricción de Darcy ( $f$ ).** Se va a calcular a partir del uso del software Engineering Equation Solver que emplea la relación de factor de fricción de Churchill. El comando para la determinación de este factor depende del Número de Reynolds ( $Re$ ) y la Rugosidad relativa ( $RR$ ). La expresión para el Número de Reynolds calculado a partir del caudal es:

$$Re = \frac{4 \times \dot{Q}}{\pi \times D_{interior} \times \nu} \quad \text{Ecuación D.2}$$

Siendo  $\nu$  la viscosidad cinemática del agua en [ $m^2/s$ ].

$$\nu = \mu / \rho \quad \text{Ecuación D.3}$$

donde  $\mu$  es la viscosidad dinámica del agua [ $kg/m.s$ ] y  $\rho$  la densidad del agua [ $kg/m^3$ ] a la temperatura y presión de referencia de la localización del cultivo.

La rugosidad relativa [*adimensional*] se determina a partir de la siguiente expresión:

$$RR = \varepsilon/D_{interior} \quad \text{Ecuación D.4}$$

donde  $\varepsilon$  es el espesor de la pared de la tubería [*m*].

**Paso 2: Longitud de la tubería.** La longitud de la tubería depende de las características de consumo; es decir, si la línea es de conducción simple o posee consumos intermedios. En el sistema de riego, las líneas que presentan consumos intermedios equidistantes son las tuberías sub laterales, laterales y terciarias. La longitud de este tipo de tuberías se determina a partir de la ecuación:

$$Longitud = L_{inicial} + (N_{consumos} - 1) \times Distancia_{consumos} + L_{final} \quad \text{Ecuación D.5}$$

donde  $L_{inicial}$  es la distancia desde el inicio de la tubería hasta el primer consumo [*m*],  $N_{consumos}$  es el número de consumos presentes en la tubería,  $Distancia_{consumos}$  es la distancia de separación entre los consumos [*m*] y  $L_{final}$  es la longitud excedente al final de la tubería [*m*].

En el caso de las tuberías sub laterales los consumos corresponden a los goteros; así mismo, los consumos de las tuberías laterales son las líneas sub laterales, y los consumos de las tuberías terciarias son las líneas laterales.

El cálculo de las longitudes de cada una de estas líneas con consumos intermedios equidistantes se realiza con la Ecuación D.5 y los resultados se resumen en la Tabla D-1. Como se observa, la longitud de todas las líneas sub laterales es igual, resultado lógico teniendo en cuenta que los consumos y separación entre goteros en todas es idéntica.

Tabla D-1. Longitud de tuberías con consumos intermedios equidistantes.

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Distancia inicial (Linicial) [m]	Longitud excedente (Lfinal) [m]	Número de consumos (Nconsumos)	Distancia entre consumos (Dconsumos) [m]	Longitud [m]
1	Sub laterales	1, ..., 24	0,5	0,15	4 [goteros]	1	3,65
	Laterales	1, 2, 3, 4	0,5	0,20	4 [sublaterales]	5	15,70
		5, 6			3 [sublaterales]		10,70
		7			2 [sublaterales]		5,70
Terciaria	1	0,5	0,20	7 [laterales]	6	36,70	
2	Sub laterales	1, ..., 23	0,5	0,15	4 [goteros]	1	3,65
	Laterales	1, 2, 3, 4, 5	0,5	0,20	3 [sublaterales]	5	10,70
		6, 7			4 [sublaterales]		15,70
Terciaria	1	0,5	0,20	7 [laterales]	6	36,70	

Cuando la línea es de conducción simple, como es el caso de las tuberías secundaria, primaria y de transporte, es común conocer o estimar la longitud dependiendo de diferentes factores como la disponibilidad de espacio en el área de cultivo y el presupuesto. Las longitudes de estas líneas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla D-2. Longitud de tuberías de conducción simple.

Tubería	Longitud [m]	
Primaria	4	
Secundaria	Ramal 1	1
	Ramal 2	43
Transporte	100	

**Paso 3: Caudal en la tubería.** El caudal en las tuberías debe ser suficiente para asegurar el flujo continuo de agua requerido por las líneas que alimentan durante el riego. En la Tabla D-3 se resumen los caudales requeridos en cada una de las líneas y la expresión matemática para determinarlo.

Tabla D-3. Caudales en tuberías.

	Tubería	Nombre de la tubería	Expresión matemática	Número de consumos en cada tubería	Caudal	
					[m <sup>3</sup> /s]	[L/h]
Sub Unidad 1	Sub laterales	1, ..., 24	$Q_{sublat} = N_{goteros} * Q_{gotero}$	4 [goteros]	0,0000044	16
	Laterales	1, 2, 3, 4	$Q_{lat} = N_{sublat} * Q_{sublat}$	4 [sublaterales]	0,0000178	64
		5, 6		3 [sublaterales]	0,0000133	48
		7		2 [sublaterales]	0,0000089	32
Terciaria	1	$Q_{terc} = N_{lat} * Q_{lat}$	7 [laterales]	0,0001067	384	
Sub Unidad 2	Sub laterales	1, ..., 23	$Q_{sublat} = N_{goteros} * Q_{gotero}$	4 [goteros]	0,0000044	16
	Laterales	1, 2, 3, 4, 5	$Q_{lat} = N_{sublat} * Q_{sublat}$	3 [sublaterales]	0,0000133	48
		6, 7		4 [sublaterales]	0,0000178	64
	Terciaria	1	$Q_{terc} = N_{lat} * Q_{lat}$	7 [laterales]	0,0001022	368
Unidad de Riego	Secundaria	Ramal 1	$Q_{sec} = Q_{sec1} + Q_{sec2}$	1 [terciaria]	0,0001067	384
		Ramal 2	$Q_{sec1} = Q_{terc1} ; Q_{sec2} = Q_{terc2}$	1 [terciaria]	0,0001022	368
	Primaria	1	$Q_{prim} = Q_{sec}$	1 [secundaria]	0,0002089	752
	Transporte	1	$Q_{trans} = Q_{prim}$	1 [primaria]	0,0002089	752

**Paso 4: Cálculo de las pérdidas de carga por fricción en tuberías.** Se lleva a cabo mediante la Ecuación D.1

--- **Tuberías sub laterales.** El cálculo de las pérdidas de carga por fricción se realiza para las tuberías Netafim™ modelo 16/4 y 20/4 que son las que poseen un espesor de tubería adecuado para la inserción de los goteros PCJ. Nótese que las pérdidas de carga son idénticas en cada sub lateral, debido a que el caudal y la longitud es también la misma. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla D-4. Pérdidas de carga por fricción en tuberías sub laterales.

Sub unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Factor de fricción de Darcy	Longitud [m]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Pérdida de carga por fricción [mca]
1	Sub laterales	1, ..., 24	16/4	14,0	1,0	0,1414	3,65	0,000004445	0,001567
			20/4	17,6	1,2	0,1777			0,000627
2	Sub laterales	1, ..., 23	16/4	14,0	1,0	0,1414	3,65	0,000004445	0,001567
			20/4	17,6	1,2	0,1777			0,000627

--- **Tuberías laterales.** En el caso de las tuberías laterales, el caudal y la longitud varían debido a la diferencia de consumos en cada línea; por consiguiente, el cálculo de las pérdidas de carga por fricción se realiza para cada grupo de tuberías laterales que agrupan las mismas características de consumo con los diámetros de las tuberías Netafim™ modelo 16/4 y 20/4.

Tabla D-5. Pérdidas de carga por fricción en tuberías laterales.

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Factor de fricción de Darcy	Longitud [m]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Pérdida de carga por fricción [mca]
1	Laterales	1, 2, 3, 4	16/4	14,0	1,0	0,03535	15,7	0,00001778	0,02696
			20/4	17,6	1,2	0,04443			0,01080
		5, 6	16/4	14,0	1,0	0,04713	10,7	0,00001334	0,01378
			20/4	17,6	1,2	0,05925			0,00552
		7	16/4	14,0	1,0	0,07069	5,7	0,00000889	0,00490
			20/4	17,6	1,2	0,08887			0,00196
2	Laterales	1, 2, 3, 4, 5	16/4	14,0	1,0	0,04713	10,7	0,00001334	0,01378
			20/4	17,6	1,2	0,05925			0,00552
		6, 7	16/4	14,0	1,0	0,03535	15,7	0,00001778	0,02696
			20/4	17,6	1,2	0,04443			0,01080

--- **Tuberías terciarias.** En las tuberías terciarias, se descartan los modelos Netafim™ de tubería usados para las líneas sub-laterales y laterales, y se decide trabajar con los tamaños subsiguientes (véase Tabla 29).

La pérdida de carga por fricción se lleva a cabo para cada uno de estos diámetros disponibles y los resultados se muestran en la Tabla D-6. Es posible observar cómo el valor de la pérdida de carga disminuye con el incremento del diámetro interior, resultado lógico debido a que el fluido pierde presión y la fricción decrece.

Tabla D-6. Pérdidas de carga por fricción en tuberías terciarias.

Sub unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Factor de fricción de Darcy	Longitud [m]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Pérdida de carga por fricción [mca]
1	Terciaria	1	25/4	22,0	1,5	0,08753	36,7	0,0001067	0,5864
			32/4	29,4	1,3	0,07405			0,1164
			32/4 SOFT	27,2	2,4	0,09992			0,2317
			40/4	36,8	1,6	0,07389			0,0378
			40/4 SOFT	34,0	3,0	0,09706			0,0738
			40/5	36,2	1,9	0,07898			0,0439
			50/4	46,0	2,0	0,06079			0,0102
			50/5	45,2	2,4	0,06330			0,0116
			63/4	58,0	2,5	0,03905			0,0021
	63/6	57,0	3,0	0,04043	0,0023				
2	Terciaria	1	25/4	22,0	1,5	0,08771	36,7	0,0001022	0,5396
			32/4	29,4	1,3	0,07426			0,1072
			32/4 SOFT	27,2	2,4	0,09999			0,2130
			40/4	36,8	1,6	0,07316			0,0344
			40/4 SOFT	34,0	3,0	0,09428			0,0658
			40/5	36,2	1,9	0,07786			0,0397
			50/4	46,0	2,0	0,05642			0,0087
			50/5	45,2	2,4	0,05859			0,0098
			63/4	58,0	2,5	0,03591			0,0017
	63/6	57,0	3,0	0,03716	0,0020				

--- **Tuberías secundaria, primaria y de transporte.** Los valores de las pérdidas de carga por fricción se calculan y resumen en la Tabla D-7.

Tabla D-7. Pérdidas de carga por fricción en tuberías secundaria, primaria y de transporte.

	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Factor de fricción de Darcy	Longitud [m]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Pérdida de carga por fricción [mca]
Unidad de Riego	Secundaria	Ramal 1	25/4	22,0	1,5	0,08753	1	0,0001067	0,0160
			32/4	29,4	1,3	0,07405			0,0032
			32/4 SOFT	27,2	2,4	0,09992			0,0063
			40/4	36,8	1,6	0,07389			0,0010
			40/4 SOFT	34,0	3,0	0,09706			0,0020
			40/5	36,2	1,9	0,07898			0,0012
		Ramal 2	25/4	22,0	1,5	0,08771	43	0,0001022	0,6322
			32/4	29,4	1,3	0,07426			0,1256
			32/4 SOFT	27,2	2,4	0,09999			0,2495
			40/4	36,8	1,6	0,07316			0,0403
			40/4 SOFT	34,0	3,0	0,09428			0,0771
			40/5	36,2	1,9	0,07786			0,0465
	Primaria	1	25/4	22,0	1,5	0,08551	4	0,0002089	0,5496
			32/4	29,4	1,3	0,07118			0,3078
			32/4 SOFT	27,2	2,4	0,09772			0,3596
			40/4	36,8	1,6	0,07148			0,1964
			40/4 SOFT	34,0	3,0	0,09834			0,2301
			40/5	36,2	1,9	0,07726			0,2030
			50/4	46,0	2,0	0,07243			0,1257
			50/5	45,2	2,4	0,07853			0,1302
			63/4	58,0	2,5	0,07336			0,0791
	63/6	57,0	3,0	0,07933	0,0819				
	Transporte	1	25/4	22,0	1,5	0,08551	100	0,0002089	5,9860
			32/4	29,4	1,3	0,07118			1,1690
32/4 SOFT			27,2	2,4	0,09772	2,3680			
40/4			36,8	1,6	0,07148	0,3820			
40/4 SOFT			34,0	3,0	0,09834	0,7810			
40/5			36,2	1,9	0,07726	0,4480			
50/4			46,0	2,0	0,07243	0,1270			
50/5			45,2	2,4	0,07853	0,1500			
63/4			58,0	2,5	0,07336	0,0400			
63/6	57,0	3,0	0,07933	0,0480					

## Anexo E. Selección del sistema de filtrado

Los sistemas de filtración son fundamentales para proteger los sistemas de riego de partículas sólidas, prolongando la vida útil de los goteros y los demás componentes presentes en el sistema.

Seleccionar el filtro idóneo depende de múltiples factores: la fuente, calidad del agua, características de los emisores y los intervalos de aplicación del riego.

La calidad del agua se puede clasificar a partir de la cantidad de sólidos suspendidos como buena (0 – 20 [ppm]), media (50 [ppm]) y mala (80 [ppm])<sup>108</sup>.

### E.1. Tipos de filtros Netafim™

Netafim™ cuenta con diferentes alternativas de filtración: filtros de anillos, filtros de arena/grava y filtros de malla.

--- **Filtros de arena/grava:** Son necesarios para cualquier fuente de agua superficial y especialmente para las aguas residuales. Consisten en un cerramiento de metal o plástico que incorpora pequeñas piedras de grava o arena, que atrapa la suciedad. Este filtro incluye un sistema de descarga para lavar la grava o arena y devolver la suciedad a la fuente de agua<sup>109</sup>.

--- **Filtros de malla:** Se utilizan principalmente como filtros secundarios con sistemas de aguas superficiales o como filtros primarios con fuentes de agua de pozo o municipales. Un filtro de malla está compuesto por un cilindro con una red que atrapa la suciedad. Este filtro está diseñado para

---

<sup>108</sup> NETAFIM™ México. Curso en línea filtros Netafim – La línea de defensa que protege tu sistema de riego [vídeo]. México: YouTube, Netafim México Oficial. (19 de mayo de 2020). 1:03:50 minutos. (Recuperado en: 1 de julio de 2020). Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=x9aRELf41\\_A&t=2496s](https://www.youtube.com/watch?v=x9aRELf41_A&t=2496s)

<sup>109</sup> NETAFIM. Drip irrigation handbook: understanding the basics. [En línea]. (Recuperado en 1 de julio de 2020). Disponible en: <https://www.netafim.com/499749/globalassets/products/drippers-and-dripperlines/drip-irrigation-system-handbook.pdf>

agua relativamente limpia; su uso es menos común con agua de un depósito o agua bombeada<sup>110</sup>.

--- **Filtros de anillos:** Usados en sistemas de aguas superficiales, pozos o fuentes de agua municipales. Están conformados por una serie de discos de plástico acanalados apilados con un tamaño de pantalla equivalente total que varía entre 40 y 400 mallas. Al tener más superficie que los filtros de malla, los filtros de anillos son más adecuados para caudales elevados<sup>111</sup>.

## **E.2. Consideraciones prácticas para la selección del sistema de filtrado**

Lo ideal es analizar los sólidos en suspensión presentes en la fuente de abastecimiento de agua. Sin embargo, como este tipo de estudios demandan cierta inversión, el equipo de Netafim™ México ha propuesto unas reglas prácticas para la selección del filtro adecuado dependiendo de la calidad del agua. Estas recomendaciones se esquematizan en la Figura E1.

Es posible observar que dentro de las consideraciones no se encuentra la calidad de agua buena, debido a que este tipo de agua corresponde a la suministrada para el consumo humano (o de características potables) y no es una situación real que el suministro hídrico para el riego agrícola sea éste.

Teniendo en cuenta las características del agua con la que se pretende regar el sistema (calidad media) y la aplicación de varias temporadas de uso, se selecciona para el sistema de riego por goteo un filtro de anillos manual.

---

<sup>110</sup> NETAFIM. Drip irrigation handbook: understanding the basics. [En línea]. (Recuperado en 1 de julio de 2020). Disponible en: <https://www.netafim.com/499749/globalassets/products/drippers-and-dripperlines/drip-irrigation-system-handbook.pdf>

<sup>111</sup> Ibid. p.17.

Figura E1. Reglas prácticas para la selección del sistema de filtrado



Fuente: NETAFIM™ México. Curso en línea filtros Netafim – La línea de defensa que protege tu sistema de riego [vídeo]. México: YouTube, Netafim México Oficial. (19 de mayo de 2020). 1:03:50 minutos. Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=x9aRELf41\\_A&t=2496s](https://www.youtube.com/watch?v=x9aRELf41_A&t=2496s)

### E.3. Extracto catálogo – Filtros de anillos manuales Netafim™

A continuación, se presenta la información correspondiente a los **Filtros de anillos manuales** ofertados por **Netafim™**. Toda la información recopilada fue tomada del catálogo *NETAFIM. Filtros de anillos manuales. [En línea]. (Recuperado en 1 de julio de 2020). Disponible en: <https://www.netafim.com.mx/bynder/8844F4CA-58A7-440B-A856B283B56AAC63-manual-ring-filters-one-page-pdf---spa.pdf>*.

---

## FILTROS DE ANILLO

### MANUALES

#### FILTROS PLÁSTICOS NORMALES Y RESISTENTES A QUÍMICOS

---



### DESCRIPCIÓN

Filtros plásticos con anillos de polipropileno, con gran calidad de filtración. Son indispensables cuando el agua de riego proviene de fuentes superficiales como canales, reservorios, ríos, etc., que contienen moderadas cantidades de materia orgánica y sólidos en suspensión.

### APLICACIONES

- Tanques de fertilizantes.
- Equipos de inyección de fertilizantes.
- Filtro de control antes de la válvula de riego.
- Cabezales de riego en baterías de filtros manuales.

### DIÁMETROS

- Disponibles de: 1", 1-1/2", 2", 3", 4" y 6".

### CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- Ahorro en espacio. Las baterías de filtros de anillos son muy compactas, por lo que requieren muy poco espacio en la instalación, reduciendo el costo en la construcción del cuarto de riego.
- Ahorro en mantenimiento. Debido a que el mantenimiento del sistema es mínimo, además que la espina de anillos cuenta con muy pocas partes móviles, lo que se traduce en menos piezas de reposición.
- Elemento de filtrado altamente durable.
- Libre de corrosión.
- Totalmente de plástico.
- Filtración precisa a causa del diseño de los anillos.

## FILTROS DE ANILLO MANUALES - DATOS TÉCNICOS

DESCRIPCIÓN	ENTRADA/ SALIDA [in]	TIPO DE CONEXIÓN	FLUJO MÁXIMO [m <sup>3</sup> /h]	ÁREA DE FILTRACIÓN [cm <sup>2</sup> ]	VOLUMEN DE FILTRACIÓN [cm <sup>3</sup> ]	DIMENSIONES [mm]			PESO [kg]	RESIST. [bar]
						LONGITUD	ANCHO	PROFUNDO		
ARKAL 1 FILTER 120 MESH (SHORT) NPT	1	ROSCA	6	308	370	233	130	158	1,1	10
ARKAL 1 SUPER DISK 120 MESH NPT	1	ROSCA	8	501	592	592	130	158	1,42	10
ARKAL 1" SUP. FILTER 120M CHEM/ GRAY NPT	1	ROSCA	8	501	592	592	130	158	1,42	6
ARKAL 1.5 FILTER 120 MESH (SHORT) NPT	1,5	ROSCA	8	308	370	250	130	200	1,3	10
ARKAL 1.5 SUPER FILTER 120 MESH NPT	1,5	ROSCA	12	502	592	359	130	200	1,51	10
ARKAL 1.5 SUPER FILTER 120 MESH CHEM	1,5	ROSCA	12	502	592	359	130	200	1,51	6
ARKAL 2" LEADER FILTER + VALVE 120 MESH	2	ROSCA	25	950	1225	425	230	115	3,2	10
ARKAL 3" LEADER FILTER W/VALVE FL. 120 MESH	3	BRIDA	50	1900	2450	742	228	320	6,3	10
ARKAL 3" SUPER ANGLE FILTER FL. 120 MESH	3	BRIDA	60	1852	1774	700	400	145	11,47	10
ARKAL 4" LEADER FILTER 120 MESH FL. RED	4	BRIDA	110	3704	3548	1188	319	445	28,8	10
ARKAL 4" SUPER ANGLE FILTER FL 120 MESH	4	BRIDA	90	1852	1774	700	400	185	13,16	10
AK 6" S. LEADER FILTER 120 MESH FL RED	6	BRIDA	140	3704	3548	1188	319	415	30,4	10

## Anexo F. Cálculo de las pérdidas de carga localizadas

En las conducciones, además de las pérdidas de carga por fricción mostradas en *Anexo D. Cálculo de la pérdida de carga por fricción en tuberías*, también se presentan otro tipo de pérdidas "debido a fenómenos de turbulencia que se originan al paso de líquido por puntos singulares de las tuberías, como cambios de dirección, codos, juntas, derivaciones (...) se conocen como pérdidas de carga accidentales, localizadas o singulares"<sup>112</sup>. Debido a que normalmente las pérdidas de carga continuas (por fricción) son más relevantes en los cálculos hidráulicos, este tipo de pérdidas localizadas suelen despreciarse o se asume que corresponden a un porcentaje de seguridad del 10% para compensarlas. Sin embargo, como en tuberías de longitudes cortas las pérdidas localizadas adquieren mayor importancia, en este anexo se va a presentar el procedimiento de cálculo para determinarlas.

La ecuación fundamental para el cálculo de las pérdidas de carga localizadas es:

$$h_{localizadas} = K_m \times \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación F.1}$$

donde  $K_m$  es el coeficiente de resistencia en la singularidad (coeficiente empírico único de cada accesorio) [*adimensional*],  $V$  es la velocidad de flujo a la entrada del accesorio [ $m/s$ ] y  $g$  es la aceleración de la gravedad [ $m/s^2$ ].

El valor del coeficiente de resistencia en la singularidad es un valor empírico, deducido generalmente a partir de pruebas de laboratorio. En este caso particular, se pretende trabajar en el sistema de riego con diferentes accesorios de polietileno

---

<sup>112</sup> UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Open Course Ware: Ingeniería Agroforestal, Hidráulica y Riegos, Tema 2: Conducciones forzadas. [En línea]. Sevilla.: Universidad de Sevilla, 2007. (Recuperado en 07 febrero 2020). Disponible en: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%202.Conducciones%20forzadas/tutorial\\_18.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%202.Conducciones%20forzadas/tutorial_18.htm)

o polipropileno (PE o PP). La Tabla F-1 muestra un resumen de coeficientes de pérdidas de algunos accesorios típicos de uso frecuente en sistemas de tuberías.

Tabla F-1. Coeficientes para pérdidas en accesorios.

Accesorio	Coefficiente Km	Accesorio	Coefficiente Km
Válvula de globo, completamente abierta	10,0	Codo de gran radio ( $r/d = 1,5$ )	0,6
Válvula en ángulo, completamente abierta	5,0	Codo de 45°	0,4 - 0,42
Válvula de registro, completamente abierta	2,5	T en sentido recto	0,3
Válvula de compuerta, completamente abierta	0,2	T a través de la salida vertical	1,8
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1,0 - 1,5	Unión	0,3
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5,6	Entrada recta a tope	0,5
Válvula de compuerta, con 1/4 de apertura	24,0	Entrada con boca acampada	0,1
Codo de radio corto ( $r/d = 1$ )	0,9	Entrada con tubo reentrando	0,9
Codo de radio mediano	0,75 - 0,8	Salida	1,0

Fuente: TIGRE. Polietileno. [En línea] En: Manual técnico. 2011. (Recuperado en 17 febrero 2020). Disponible en: <https://www.tigre.com.ar/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/argentina/catalogo-pehd.pdf>

A continuación, se presentan los pasos para calcular las pérdidas de carga localizadas en cada una de las tuberías.

### F.1. Cálculo de las pérdidas de carga localizadas en tuberías laterales

**Paso 1: Coeficiente para pérdidas en accesorios ( $K_m$ ).** Como se sabe, las tuberías laterales alimentan a las líneas sub laterales, conectándose a través de uniones que en este caso se realizarán con T's. El valor correspondiente es:

$$K_m = 1,8$$

**Paso 2: Velocidad a la entrada del accesorio ( $V$ ).** La velocidad depende del área y el caudal que circula a través de la tubería. Según lo especificado en la

Sección 3.2.3.3 el diámetro idóneo para las líneas laterales corresponde a la tubería Netafim™ modelo 16/4 ( $D_i = 0,014 [m]$  y  $\varepsilon = 0,001 [m]$ ). La Tabla F-2 muestra las velocidades presentes en cada línea lateral de las dos subunidades.

Tabla F-2. Velocidad en tuberías laterales.

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Velocidad [m/s]
1	Laterales	1, 2, 3, 4	16/4	14	1,0	0,00001778	0,1155
		5, 6				0,00001334	0,0867
		7				0,00000889	0,0577
2	Laterales	1, 2, 3, 4, 5	16/4	14	1,0	0,00001334	0,0867
		6, 7				0,00001778	0,1155

Como se observa, la máxima velocidad en la subunidad 1 se presenta en las líneas laterales 1, 2, 3 y 4; así mismo, el máximo valor de velocidad en la subunidad 2 es el obtenido para los laterales 6 y 7. Debido a que se pretende diseñar la instalación para facilitar las labores de mantenimiento y minimizando costos, todas las uniones empleadas serán del mismo tipo; por consiguiente, se van a determinar los valores de las pérdidas de carga localizadas usando el máximo valor de velocidad en cada subunidad por motivos de seguridad.

**Paso 3: Cálculo de las pérdidas de carga localizadas ( $h_{localizadas}$ ).** El cálculo de las pérdidas de carga localizadas se lleva a cabo mediante el uso de la Ecuación F.1. Los resultados se resumen en la Tabla F-3.

Tabla F-3. Pérdidas de carga localizadas en tuberías laterales

Sub Unidad	Tubería	Número de accesorios	Coefficiente Km	Velocidad [m/s]	Pérdidas de carga localizadas [mca]	Pérdidas de carga localizadas totales [mca]
1	Laterales	24	1,8	0,1155	0,02962	0,05801
2		23	1,8		0,02839	

## F.2. Cálculo de las pérdidas de carga localizadas en tuberías terciarias

**Paso 1: Coeficiente para pérdidas en accesorios ( $K_m$ ).** Las líneas laterales se ensamblan a las tuberías terciarias por medio de uniones para asegurar el suministro de agua. El valor correspondiente del coeficiente para pérdidas en uniones es:

$$K_m = 0,3$$

**Paso 2: Velocidad a la entrada del accesorio ( $V$ ).** El diámetro seleccionado para la línea terciaria corresponde a la tubería Netafim™ modelo 25/4.

Tabla F-4. Velocidad en tuberías terciarias.

Sub Unidad	Tubería	Nombre de la tubería	Modelo	Diámetro interior [mm]	Espesor de pared [mm]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Velocidad [m/s]
1	Terciaria	1	25/4	22	1,5	0,0001067	0,2807
2	Terciaria	1				0,0001022	0,2690

Por motivos de seguridad, las pérdidas de carga localizadas se van a determinar empleando el máximo valor de velocidad; es decir, la velocidad de la tubería terciaria de la subunidad 1.

**Paso 3: Cálculo de las pérdidas de carga localizadas ( $h_{localizadas}$ ).**

Tabla F-5. Pérdidas de carga localizadas en tuberías terciarias

Sub Unidad	Tubería	Número de accesorios	Coeficiente Km	Velocidad [m/s]	Pérdidas de carga localizadas [mca]	Pérdidas de carga localizadas totales [mca]
1	Terciaria	7	0,3	0,2807	0,00850	0,01700
2		7	0,3		0,00850	

### F.3. Cálculo de las pérdidas de carga localizadas en la tubería secundaria

**Paso 1: Coeficiente para pérdidas en accesorios ( $K_m$ ).** Las tuberías terciarias representan el inicio de cada subunidad, por lo que es importante regular la presión del fluido a la entrada de éstas para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación. Debido a esto, la tubería secundaria se encarga de alimentar y regular las líneas terciarias mediante válvulas de control de presión. El valor correspondiente del coeficiente para pérdidas es:

$$K_m = 10,0$$

**Paso 2: Velocidad a la entrada del accesorio ( $V$ ).** Según la Sección 3.2.3.6 el diámetro seleccionado para la tubería secundaria es la línea Netafim™ modelo 25/4 de diámetro interior  $D_i = 0,0176 [m]$ . Asimismo, es importante recordar que los cálculos se van a realizar teniendo en cuenta el ramal de la línea secundaria por el que circula más caudal; es decir, el ramal 1. Conocido el diámetro y el caudal del ramal 1 es posible determinar la velocidad:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q_{ramal1}}{(\pi \times D^2/4)} = \frac{0,0001067 [m^3/s]}{(\pi \times (0,022 [m])^2/4)} \Rightarrow V = 0,2807 [m/s]$$

**Paso 3: Cálculo de las pérdidas de carga localizadas ( $h_{localizadas}$ ).**

Tabla F-6. Pérdidas de carga localizadas en la tubería secundaria.

	Tubería	Número de accesorios	Coeficiente Km	Velocidad [m/s]	Pérdidas de carga localizadas totales [mca]
Unidad de Riego	Secundaria	2	10	0,2807	0,08096

#### F.4. Cálculo de las pérdidas de carga localizadas en la tubería primaria

**Paso 1: Coeficiente para pérdidas en accesorios ( $K_m$ ).** Según lo especificado en la Sección 3.2.3.6 la tubería secundaria es alimentada por la línea primaria desde la esquina (véase Figura 21). Esta unión se realiza mediante una T cuyo coeficiente de pérdida es:

$$K_m = 1,8$$

**Paso 2: Velocidad a la entrada del accesorio ( $V$ ).** El diámetro seleccionado para la línea primaria es la tubería Netafim™ modelo 25/4 de diámetro interior  $D_i = 0,022$  [m]. Conocido el diámetro y el caudal que circula a través de la línea primaria es posible determinar la velocidad mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{(\pi \times D^2/4)} = \frac{0,0002089 \text{ [m}^3/\text{s]}}{(\pi \times (0,022 \text{ [m]})^2/4)} \Rightarrow V = 0,5496 \text{ [m/s]}$$

**Paso 3: Cálculo de las pérdidas de carga localizadas ( $h_{localizadas}$ ).** El cálculo de las pérdidas de carga localizadas se lleva a cabo mediante el uso de la Ecuación F.1. Los resultados se resumen en la Tabla F-7.

Tabla F-7. Pérdidas de carga localizadas en la tubería primaria.

	Tubería	Número de accesorios	Coeficiente $K_m$	Velocidad [m/s]	Pérdidas de carga localizadas totales [mca]
Unidad de Riego	Primaria	1	1,8	0,5496	0,02794

## Anexo G. Cotización productos Netafim™

En la Tabla G-1 se presenta la solicitud de cotización realizada a la empresa Fertirriegos del Oriente distribuidora oficial de productos Netafim™ en Colombia.

Tabla G-1. Solicitud de cotización productos Netafim™



Carrera 47 No. 58 - 07 local 2  
Telefono : 5 3223618  
Celular: 301 4179088

**NIT No. 900.845.183-0**

<b>MARIAN ORDOÑEZ</b>			<b>COTIZACION No.</b> 09-03-001	
<b>NIT:</b>		<b>CELULAR:</b> 317 24XXXXX	<b>FECHA:</b> SEPTIEMBRE 03/20	
<b>CANT</b>	<b>UNID</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>V. UNITARIO</b>	<b>V. TOTAL</b>
188	UNID	GOTEROS AUTOCOMPENSADOS DE 4 L/H	550	103.400
4	UNID	MANGUERA PELITEIZADA AGRICOLA 16 MM X 100 MTS	50.000	200.000
2	UNID	MANGUERA POLIETILENO CAL 60 DE 1" X 100 MTS	160.000	320.000
1	UNID	MANGUERA POLIETILENO CAL 60 DE 1 1/2" X 100 MTS	260.000	260.000
2	UNID	FILTRO DE MALLA ARKAL DE 1" 120 MESH	45.000	90.000
1	UNID	VALVULA PVC LISA DE 1"	6.000	6.000
1	UNID	VALVULA PVC LISA DE 1 1/2"	8.200	8.200
2	UNID	VALVULA DE ALIVIO DE PRESION EN BRONCE DE 1"	349.000	698.000
1	UNID	UNION REDUCCION ALUMINIO DE 1 1/2" X 1"	7.000	7.000
2	UNID	FIN DE LINEA ANILLO AZUL 16 MM	800	1.600
47	UNID	ACOPLE MACHO PP DE 1"	1.500	70.500
47	UNID	TAPON ROSCADO PVC DE 1"	1.100	51.700
14	UNID	CONECTOR INICIAL CON SILLETA 16 MM	1.600	22.400
33	UNID	TEE POLIETILENO 16 MM	1.100	36.300
1	UNID	TEE POLIETILENO 1"	1.800	1.800
14	UNID	CODO POLIETILENO 16 MM	1.100	15.400
2	UNID	CODO POLIETILENO 1"	1.500	3.000
<b>SUB TOTAL</b>			<b>1.895.300</b>	

**LOS SISTEMAS DE RIEGO COMO PAQUETE ESTAN EXCLUIDOS DE IVA ARTICULO 424 LEY 1607 DE 2012**

## Anexo H. Propuestas visuales de la aplicación "PROGRAMA DE CÁLCULO – CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA"

El flujo de trabajo general de la aplicación "PROGRAMA DE CÁLCULO – CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA" se muestra en la Figura 28.

A continuación, se presentan las propuestas visuales de todas las pantallas principales y secundarias en la aplicación.

Figura H-1. Propuesta visual – Ventana de bienvenida y ventana de contenido.



Figura H-2. Propuesta visual – Hoja 1 Diseño agronómico con resultados.

**SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO**

**FINCA VILLA MARÍA**  
**CULTIVO DE GUANÁBANA**

**DISEÑO AGRONÓMICO**

**1 NECESIDADES DE RIEGO**

→ Las **NECESIDADES NETAS DE RIEGO** dependen de las precipitaciones y la evapotranspiración del cultivo. VER TABLA DE REFERENCIA

→ Seleccione **MES** y **AÑO DE PERIODO VEGETATIVO** de la guanábana. i

Enero

Año 3

→ CALCULAR

**RESULTADOS**

VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Necesidad neta	Nn	2,66	[mm/día]
Necesidad bruta	Nb	2,96	[mm/día]

**2 DOSIS DE RIEGO**

Primera parte

→ Seleccione el **TIPO DE SUELO** del cultivo.

Arenoso
 Franco - arenoso
 Franco

Franco - arcilloso
 Arcilloso

→ Ingrese la **PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES** =  [cm] i

→ CALCULAR

**RESULTADOS INICIALES**

VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Dosis neta	Dn	28,80	[mm]
Intervalo entre riegos	I	10,83	[días]

**ACLARACIÓN**

El **INTERVALO ENTRE RIEGOS** obtenido es un **valor máximo** por razones agronómicas que puede ser menor si se estima conveniente.

Figura H-2. Propuesta visual – Hoja 1 Diseño agronómico con resultados (Continuación).

A continuación, se presenta el **INTERVALO ENTRE RIEGOS APROXIMADO** recomendado para la Finca Villa María.

RESULTADO RECOMENDADO	VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
	Intervalo entre riegos aproximado	laprox	8	[días]

Segunda parte → ¿Desea conservar el **INTERVALO ENTRE RIEGOS APROXIMADO** recomendado?  Sí  No

→ **CALCULAR**

RESULTADOS FINALES	VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
	Dosis neta ajustada	Dn.ajust	21,28	[mm]
	Dosis bruta	Db	23,64	[mm]
	Intervalo entre riegos aproximado	laprox	8	[días]

### 3 VARIABLES GENERALES DE RIEGO

→ TIPO DE SUELO seleccionado para el cultivo: Franco - arenoso

→ Seleccione TIPO y CAUDAL DEL GOTERO. i

Autocompensante 4,0 [L/h]

→ **CALCULAR**

RESULTADOS	VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
	Número de goteros	ne	4	[goteros]
	Tiempo de aplicación	ta	3,45	[horas]
	Distancia entre goteros	Dist_goteros	0,85	[m]

**GENERAR INFORME** **CONTINUAR >>**

Figura H-3. Propuesta visual – Hoja 3 Informe de resultados agronómicos.

**SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO**

FINCA VILLA MARÍA  
CULTIVO DE GUANÁBANA

**DISEÑO AGRONÓMICO**

**INFORME DE RESULTADOS**

INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO			CONDICIONES CLIMÁTICAS SELECCIONADAS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO	
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	MES	
Área del cultivo	1/4	[ha]	Enero	
Número de árboles a irrigar	47			
Distancia entre árboles	5	[m]		
Filas de árboles	14			
Distancia entre filas de árboles	6	[m]		
Pendiente del terreno	10	[%]		
			<b>AÑO PERIODO VEGETATIVO</b>	3: Maduración (Etapa de recolección)
			<b>CONDICIÓN CRÍTICA</b>	Sí

RESULTADOS DEL DISEÑO AGRONÓMICO						
VARIABLES			PARÁMETROS			
Necesidades netas de riego máximas	Nn	2,66	[mm/día]	Evapotranspiración del cultivo	ETc	3,72 [mm/día]
				Precipitación efectiva	Pe	1,05 [mm/día]
Necesidades brutas de riego	Nb	2,96	[mm/día]	Eficiencia de aplicación	Ea	90 [%]
Dosis neta de riego	Dn	28,80	[mm]	Agua utilizable por el cultivo	AU	96 [mm]
				Déficit permisible de manejo	DPM	30 [%]
Dosis bruta de riego	Db	23,64	[mm]	Dosis neta de riego ajustada	Dn.ajust	21,28 [mm]
Intervalo entre riegos aprox.	laprox	8	[días]	Intervalo entre riegos	I	10,83 [días]
Número de goteros por planta	ne	4	[goteros]	Superficie mojada por planta	Superf_mxp	2,33 [m²]
				Superficie mojada por gotero	Superf_mxg	0,79 [m²]
Tiempo de aplicación	ta	3,45	[horas]	Diámetro mojado del bulbo húmero	Dm_bulbo	1,00 [m]
Distancia entre goteros	Dist_goteros	0,85	[m]			

<b>EN RESUMEN:</b> Para cada árbol de guanábana	Dosis de riego	23,64 [mm] = 55,1 [L] = 15 [galones]
	Tiempo de aplicación	03:27:00 [horas:minutos:segundos]
	Intervalo entre riegos	8 [días]

<< REGRESAR

GUARDAR

Figura H-4. Propuesta visual – Hoja 2 Diseño hidráulico con resultados.

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

FINCA VILLA MARÍA  
CULTIVO DE GUANÁBANA

DISEÑO HIDRÁULICO

FASE 1 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

ETAPA 1 RED DE DISTRIBUCIÓN

→ Seleccione la **DISPOSICIÓN DE GOTEROS** que desea calcular. i

Todas las disposiciones ▾

Si selecciona "*Todas las disposiciones*" se va a calcular para las tres disposiciones con los mismos valores de diámetro.

ETAPA 2 GOTEROS

→ A continuación, se presenta un resumen de la **INFORMACIÓN GENERAL** y **TÉCNICA** del **GOTERO** seleccionado en el diseño agronómico.

INFORMACIÓN GENERAL

TIPO DE GOTERO	(PCJ) Autocompensante		
VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Número de goteros por árbol	ne	4	[goteros]

INFORMACIÓN TÉCNICA NETAFIM™

REFERENCIA TÉCNICA NETAFIM™	PCJ		
VARIABLE	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Caudal	Qgotero	4,0	[L/h]
Presión nominal	Pnom	1	[bar]
Coeficiente de descarga	K	4,0	-
Exponente de descarga	x	0,0001	-

→ En las siguientes etapas, seleccionará para cada tubería el **DIÁMETRO** deseado.

VER

TABLA DE REFERENCIA: TUBERÍAS NETAFIM PE ESTÁNDAR

ETAPA 3

→ Antes de continuar, revise el **DIAGRAMA ESQUEMÁTICO** del sistema de riego por goteo en la Finca Villa María dependiendo de la disposición de los goteros.

VER

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DE ANILLOS

VER

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL

VER

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DE ZIGZAG

TUBERÍAS SUB-LATERALES i

SUB-UNIDAD 1

Modelo 16/4 - 16mm - 5/8" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	16	[mm]
Espesor de pared	1,0	[mm]

SUB-UNIDAD 2

Modelo 16/4 - 16mm - 5/8" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	16	[mm]
Espesor de pared	1,0	[mm]

233

Figura H-4. Propuesta visual – Hoja 2 Diseño hidráulico con resultados (Continuación).

**TUBERÍAS LATERALES**

**SUB-UNIDAD 1**

Modelo 16/4 - 16mm - 5/8" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	16	[mm]
Espesor de pared	1,0	[mm]

**SUB-UNIDAD 2**

Modelo 16/4 - 16mm - 5/8" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	16	[mm]
Espesor de pared	1,0	[mm]

**ETAPA 4 TUBERÍAS TERCIARIAS**

**SUB-UNIDAD 1**

Modelo 25/4 - 25mm - 1" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	25	[mm]
Espesor de pared	1,5	[mm]

**SUB-UNIDAD 2**

Modelo 25/4 - 25mm - 1" ▾

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	25	[mm]
Espesor de pared	1,5	[mm]

→ CÁLCULO DE SUB-UNIDAD

DISPOSICIÓN DE ANILLOS

DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL

DISPOSICIÓN DE ZIGZAG

**RESULTADOS  
DISPOSICIÓN DE ANILLOS**

TUBERÍAS SUB-LATERALES			
SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Pérdidas	0,02	[mca]
	Pérdidas admisibles	2750,00	[mca]
	Presión inicial	10	[mca]
2	Pérdidas	0,02	[mca]
	Pérdidas admisibles	2750,00	[mca]
	Presión inicial	10	[mca]

TUBERÍAS LATERALES			
SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Pérdidas	0,07	[mca]
	Pérdidas admisibles	2750,00	[mca]
	Presión inicial	9,15	[mca]
2	Pérdidas	0,06	[mca]
	Pérdidas admisibles	2750,00	[mca]
	Presión inicial	8,40	[mca]

TUBERÍAS TERCIARIAS			
SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Pérdidas	0,26	[mca]
	Pérdidas admisibles	9999,91	[mca]
	Presión inicial	7,50	[mca]
2	Pérdidas	0,24	[mca]
	Pérdidas admisibles	9999,92	[mca]
	Presión inicial	8,57	[mca]

**COMPROBACIÓN ADICIONAL EN LA SUB-UNIDAD DE RIEGO**

"El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo limita la variación máxima de caudal a un 10% en la unidad de riego".

SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Variación de caudal	0,00035	[%]
2	Variación de caudal	0,00032	[%]

**ACLARACIÓN**

Recuerde que las **PÉRDIDAS** deben ser **MENORES** a las **PÉRDIDAS ADMISIBLES**

Si el valor de las **PÉRDIDAS** aparece en rojo, el **DIÁMETRO** seleccionado es **INVÁLIDO**.

Figura H-4. Propuesta visual – Hoja 2 Diseño hidráulico con resultados (Continuación).

**RESULTADOS DISPOSICIÓN DOBLE ALTERAL**

**! ACLARACIÓN**  
 Recuerde que las **PÉRDIDAS** deben ser **MENORES** a las **PÉRDIDAS ADMISIBLES**

Si el valor de las **PÉRDIDAS** aparece en rojo, el **DIÁMETRO** seleccionado es **INVÁLIDO**.

TUBERÍAS LATERALES			
SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Pérdidas	0,07	[mca]
	Pérdidas admisibles	5500,00	[mca]
	Presión inicial	9,00	[mca]
2	Pérdidas	0,06	[mca]
	Pérdidas admisibles	5500,00	[mca]
	Presión inicial	8,25	[mca]

TUBERÍAS TERCIARIAS			
SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Pérdidas	0,24	[mca]
	Pérdidas admisibles	9999,93	[mca]
	Presión inicial	7,29	[mca]
2	Pérdidas	0,22	[mca]
	Pérdidas admisibles	9999,94	[mca]
	Presión inicial	8,42	[mca]

**COMPROBACIÓN ADICIONAL EN LA SUB-UNIDAD DE RIEGO**

*"El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo limita la variación máxima de caudal a un 10% en la unidad de riego".*

SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Variación de caudal	0,0003	[%]
2	Variación de caudal	0,0003	[%]

**RESULTADOS DISPOSICIÓN DE ZIGZAG**

**! ACLARACIÓN**  
 Recuerde que las **PÉRDIDAS** deben ser **MENORES** a las **PÉRDIDAS ADMISIBLES**

Si el valor de las **PÉRDIDAS** aparece en rojo, el **DIÁMETRO** seleccionado es **INVÁLIDO**.

TUBERÍAS LATERALES			
SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Pérdidas	0,09	[mca]
	Pérdidas admisibles	5500,00	[mca]
	Presión inicial	8,41	[mca]
2	Pérdidas	0,08	[mca]
	Pérdidas admisibles	5500,00	[mca]
	Presión inicial	7,36	[mca]

TUBERÍAS TERCIARIAS			
SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Pérdidas	0,26	[mca]
	Pérdidas admisibles	9999,91	[mca]
	Presión inicial	6,76	[mca]
2	Pérdidas	0,24	[mca]
	Pérdidas admisibles	9999,92	[mca]
	Presión inicial	7,53	[mca]

**COMPROBACIÓN ADICIONAL EN LA SUB-UNIDAD DE RIEGO**

*"El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo limita la variación máxima de caudal a un 10% en la unidad de riego".*

SUBUNIDAD	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
1	Variación de caudal	0,0004	[%]
2	Variación de caudal	0,0003	[%]

→ Antes de continuar,  
 ¿Desea revisar nuevamente los **DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS** del Sistema?

VER	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DE ANILLOS
VER	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL
VER	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO: DISPOSICIÓN DE ZIGZAG

Figura H-4. Propuesta visual – Hoja 2 Diseño hidráulico con resultados (Continuación).

**ETAPA 5**

**TUBERÍAS SECUNDARIAS**

**UNIDAD DE RIEGO**

Modelo 25/4 - 25mm - 1" ▼

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	25	[mm]
Espesor de pared	1,5	[mm]

**TUBERÍA PRIMARIA**

**UNIDAD DE RIEGO**

Modelo 25/4 - 25mm - 1" ▼

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro	25	[mm]
Espesor de pared	1,5	[mm]

**FASE 2 SISTEMA DE TRANSPORTE**

**ETAPA 6 TUBERÍA DE TRANSPORTE**

**UNIDAD DE RIEGO**

Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4" ▼

VARIABLE	VALOR	UNIDADES
Diámetro	32	[mm]
Espesor de pared	1,3	[mm]

→ **CÁLCULO UNIDAD DE RIEGO**

DISPOSICIÓN DE ANILLOS

DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL

DISPOSICIÓN DE ZIGZAG

**RESULTADOS DISPOSICIÓN DE ANILLOS**

**ACLARACIÓN**

La **VELOCIDAD** recomendada se encuentra entre 0,25 y 2,5 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad.

Si el valor de la **VELOCIDAD** aparece en rojo, el **DIÁMETRO** seleccionado es **INVÁLIDO**.

TUBERÍA	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Tuberías secundarias	Pérdidas	0,63	[mca]
	Presión inicial	9,21	[mca]
	Velocidad	0,28	[m/s]
Tubería Primaria	Pérdidas	0,24	[mca]
	Presión inicial	9,24	[mca]
	Velocidad	0,55	[m/s]
Cabezal de riego	Pérdidas	9,18	[mca]
	Presión inicial	18,43	[mca]
Tubería de transporte	Pérdidas	1,17	[mca]
	Velocidad	0,31	[m/s]

**RESULTADO FINAL**

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Altura mínima de Funcionamiento <span style="color: red;">❗</span>	19,80	[m]

**RESULTADOS DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL**

**ACLARACIÓN**

La **VELOCIDAD** recomendada se encuentra entre 0,25 y 2,5 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad.

Si el valor de la **VELOCIDAD** aparece en rojo, el **DIÁMETRO** seleccionado es **INVÁLIDO**.

TUBERÍA	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Tuberías secundarias	Pérdidas	0,63	[mca]
	Presión inicial	9,05	[mca]
	Velocidad	0,28	[m/s]
Tubería Primaria	Pérdidas	0,24	[mca]
	Presión inicial	9,09	[mca]
	Velocidad	0,55	[m/s]
Cabezal de riego	Pérdidas	9,14	[mca]
	Presión inicial	18,23	[mca]
Tubería de transporte	Pérdidas	1,17	[mca]
	Velocidad	0,31	[m/s]

**RESULTADO FINAL**

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Altura mínima de Funcionamiento <span style="color: red;">❗</span>	19,60	[m]

236

Figura H-4. Propuesta visual – Hoja 2 Diseño hidráulico con resultados (Continuación).

**RESULTADOS DISPOSICIÓN DE ZIGZAG**

**! ACLARACIÓN**

La **VELOCIDAD** recomendada se encuentra entre 0,25 y 2,5 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad.

Si el valor de la **VELOCIDAD** aparece en rojo, el **DIÁMETRO** seleccionado es **INVÁLIDO**.

TUBERÍA	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Tuberías secundarias	Pérdidas	0,63	[mca]
	Presión inicial	8,16	[mca]
	Velocidad	0,28	[m/s]
Tubería Primaria	Pérdidas	0,24	[mca]
	Presión inicial	8,20	[mca]
	Velocidad	0,55	[m/s]
Cabezal de riego	Pérdidas	9,13	[mca]
	Presión inicial	17,33	[mca]
Tubería de transporte	Pérdidas	1,17	[mca]
	Velocidad	0,31	[m/s]

**RESULTADO FINAL**

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Altura mínima de Funcionamiento <span style="color: #00aaff; font-size: 1.2em;">i</span>	18,69	[m]

<< VOLVER

COMPARAR DISPOSICIONES

GENERAR INFORME

FINALIZAR >>

**MODELAMIENTO 3D CAD**    **DISPONIBLE SÓLO PARA DISPOSICIÓN DE ANILLOS**

→ Seleccione únicamente si el equipo en el que se encuentra tiene instalado el software CAD **SOLIDWORKS VERSIÓN 2018** en adelante.

GENERAR MODELO 3D CAD

Figura H-5. Propuesta visual – Ventana selección informe de resultados hidráulico.

Informe de resultados: Diseño Hidráulico ×

**Informe de Resultados  
Diseño Hidráulico**

Seleccione el Informe de la Disposición de Goteros que desea visionar.

<< VOLVER

ACEPTAR

Figura H-6. Propuesta visual – Hoja 4 Informe de resultados hidráulicos.

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

FINCA VILLA MARÍA  
CULTIVO DE GUANÁBANA

DISEÑO HIDRÁULICO

INFORME DE RESULTADOS

DISPOSICIÓN DE ANILLOS

INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO			CONDICIONES CLIMÁTICAS SELECCIONADAS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO	
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	MES	
Área del cultivo	1/4	[ha]		
Número de árboles a irrigar	47			
Distancia entre árboles	5	[m]	AÑO PERIODO VEGETATIVO	3: Maduración (Etapa de recolección)
Filas de árboles	14			
Distancia entre filas de árboles	6	[m]		
Pendiente del terreno	10	[%]	CONDICIÓN CRÍTICA	No

RESULTADOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO					
FASE 1 - SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN					
ETAPA	DESARROLLO				
1	<b>RED DE DISTRIBUCIÓN</b>	Disposición de goteros	Disposición de Anillos		
	2	<b>GOTEROS</b>	Referencia técnica	PCJ - Netafim™	Caudal del gotero
		Cantidad total	188	Presión nominal	10 [mca]
3	<b>TUBERÍAS SUB-LATERALES</b>	Referencia técnica	Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	16 [mm]
		Número de tuberías	47	Espesor de pared	1,0 [mm]
	<b>TUBERÍAS LATERALES</b>	Referencia técnica	Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	16 [mm]
		Número de tuberías	14	Espesor de pared	1,0 [mm]
4	<b>TUBERÍAS TERCIARIAS</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	2	Espesor de pared	1,5 [mm]
5	<b>TUBERÍAS SECUNDARIAS</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	2	Espesor de pared	1,5 [mm]
	<b>TUBERÍA PRIMARIA</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	1	Espesor de pared	1,5 [mm]
			Longitud total	4 [m]	

FASE 2 - SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN					
ETAPA	DESARROLLO				
6	<b>TUBERÍA DE TRANSPORTE</b>	Referencia técnica	Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	32 [mm]
				Espesor de pared	1,3 [mm]
		Número de tuberías	1	Longitud total	100 [m]

<< REGRESAR

CAMBIAR INFORME

VER INFORME ESQUEMÁTICO

GUARDAR

Figura H-6. Propuesta visual – Hoja 4 Informe de resultados hidráulicos (Continuación).

<b>SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO</b>			<b>FINCA VILLA MARÍA CULTIVO DE GUANÁBANA</b>		
<b>DISEÑO HIDRÁULICO</b>					
<b>INFORME DE RESULTADOS</b>			<b>DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL</b>		
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO</b>			<b>CONDICIONES CLIMÁTICAS SELECCIONADAS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO</b>		
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	MES	Enero	
Área del cultivo	1/4	[ha]	AÑO PERIODO VEGETATIVO	3: Maduración (Etapa de recolección)	
Número de árboles a irrigar	47				
Distancia entre árboles	5	[m]	CONDICIÓN CRÍTICA	Sí	
Filas de árboles	14				
Distancia entre filas de árboles	6	[m]			
Pendiente del terreno	10	[%]			
<b>RESULTADOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO</b>					
<b>FASE 1 - SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</b>					
ETAPA	DESARROLLO				
1	<b>RED DE DISTRIBUCIÓN</b>	Disposición de goteros	Disposición Doble Lateral		
2	<b>GOTEROS</b>	Referencia técnica	PCJ - Netafim™	Caudal del gotero	4,0 [L/h]
		Cantidad total	188	Presión nominal	10 [mca]
3	<b>TUBERÍAS LATERALES</b>	Referencia técnica	Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	16 [mm]
		Número de tuberías	28	Espesor de pared	1,0 [mm]
4	<b>TUBERÍAS TERCIARIAS</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	2	Espesor de pared	1,5 [mm]
5	<b>TUBERÍAS SECUNDARIAS</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	2	Espesor de pared	1,5 [mm]
5	<b>TUBERÍA PRIMARIA</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	1	Espesor de pared	1,5 [mm]
				Longitud total	4 [m]
<b>FASE 2 - SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</b>					
ETAPA	DESARROLLO				
6	<b>TUBERÍA DE TRANSPORTE</b>	Referencia técnica	Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	32 [mm]
				Espesor de pared	1,3 [mm]
		Número de tuberías	1	Longitud total	100 [m]

<< REGRESAR
CAMBIAR INFORME
VER INFORME ESQUEMÁTICO
GUARDAR

Figura H-6. Propuesta visual – Hoja 4 Informe de resultados hidráulicos (Continuación).

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

FINCA VILLA MARÍA  
CULTIVO DE GUANÁBANA

DISEÑO HIDRÁULICO

INFORME DE RESULTADOS

DISPOSICIÓN DE ZIGZAG

INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO			CONDICIONES CLIMÁTICAS SELECCIONADAS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO	
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES	MES	
Área del cultivo	1/4	[ha]	Enero	
Número de árboles a irrigar	47		AÑO PERIODO VEGETATIVO	3: Maduración (Etapa de recolección)
Distancia entre árboles	5	[m]		
Filas de árboles	14			
Distancia entre filas de árboles	6	[m]	CONDICIÓN CRÍTICA	Sí
Pendiente del terreno	10	[%]		

RESULTADOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO					
FASE 1 - SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN					
ETAPA	DESARROLLO				
1	<b>RED DE DISTRIBUCIÓN</b>	Disposición de goteros	Disposición de ZigZag		
2	<b>GOTEROS</b>	Referencia técnica	PCJ - Netafim™	Caudal del gotero	4,0 [L/h]
		Cantidad total	188	Presión nominal	10 [mca]
3	<b>TUBERÍAS LATERALES</b>	Referencia técnica	Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	16 [mm]
		Número de tuberías	14	Espesor de pared	1,0 [mm]
				Longitud total	282,1 [m]
4	<b>TUBERÍAS TERCIARIAS</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	2	Espesor de pared	1,5 [mm]
				Longitud total	73,4 [m]
5	<b>TUBERÍAS SECUNDARIAS</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	2	Espesor de pared	1,5 [mm]
				Longitud total	44 [m]
	<b>TUBERÍA PRIMARIA</b>	Referencia técnica	Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	25 [mm]
		Número de tuberías	1	Espesor de pared	1,5 [mm]
				Longitud total	4 [m]

FASE 2 - SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN					
ETAPA	DESARROLLO				
6	<b>TUBERÍA DE TRANSPORTE</b>	Referencia técnica	Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar	Diámetro nominal	32 [mm]
		Número de tuberías	1	Espesor de pared	1,3 [mm]
				Longitud total	100 [m]

<< REGRESAR

CAMBIAR INFORME

VER INFORME ESQUEMÁTICO

GUARDAR

Figura H-7. Propuesta visual – Hoja 5 Informe esquemático de resultados disposición de anillos.

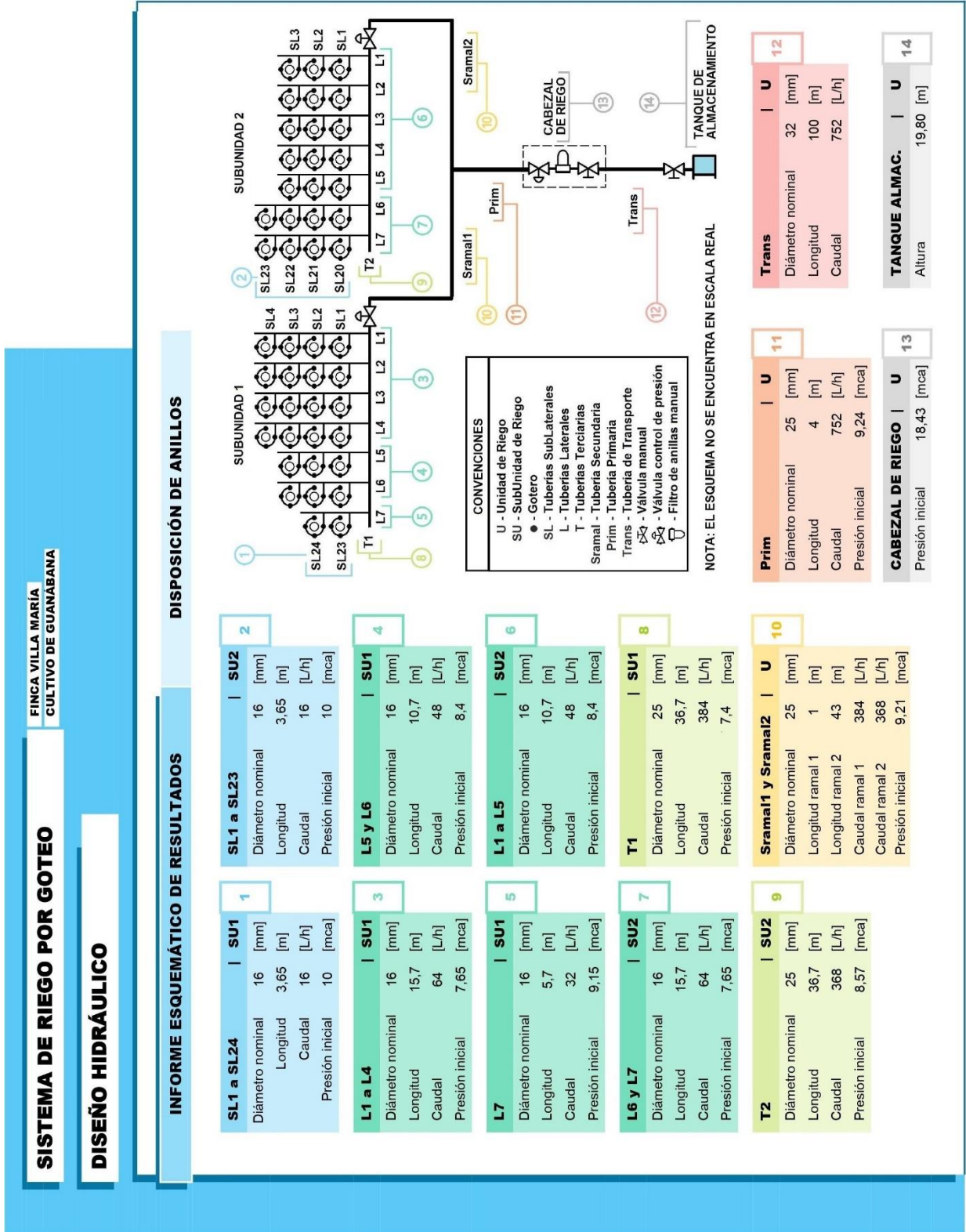


Figura H-8. Propuesta visual – Hoja 6 Informe esquemático de resultados disposición doble lateral.

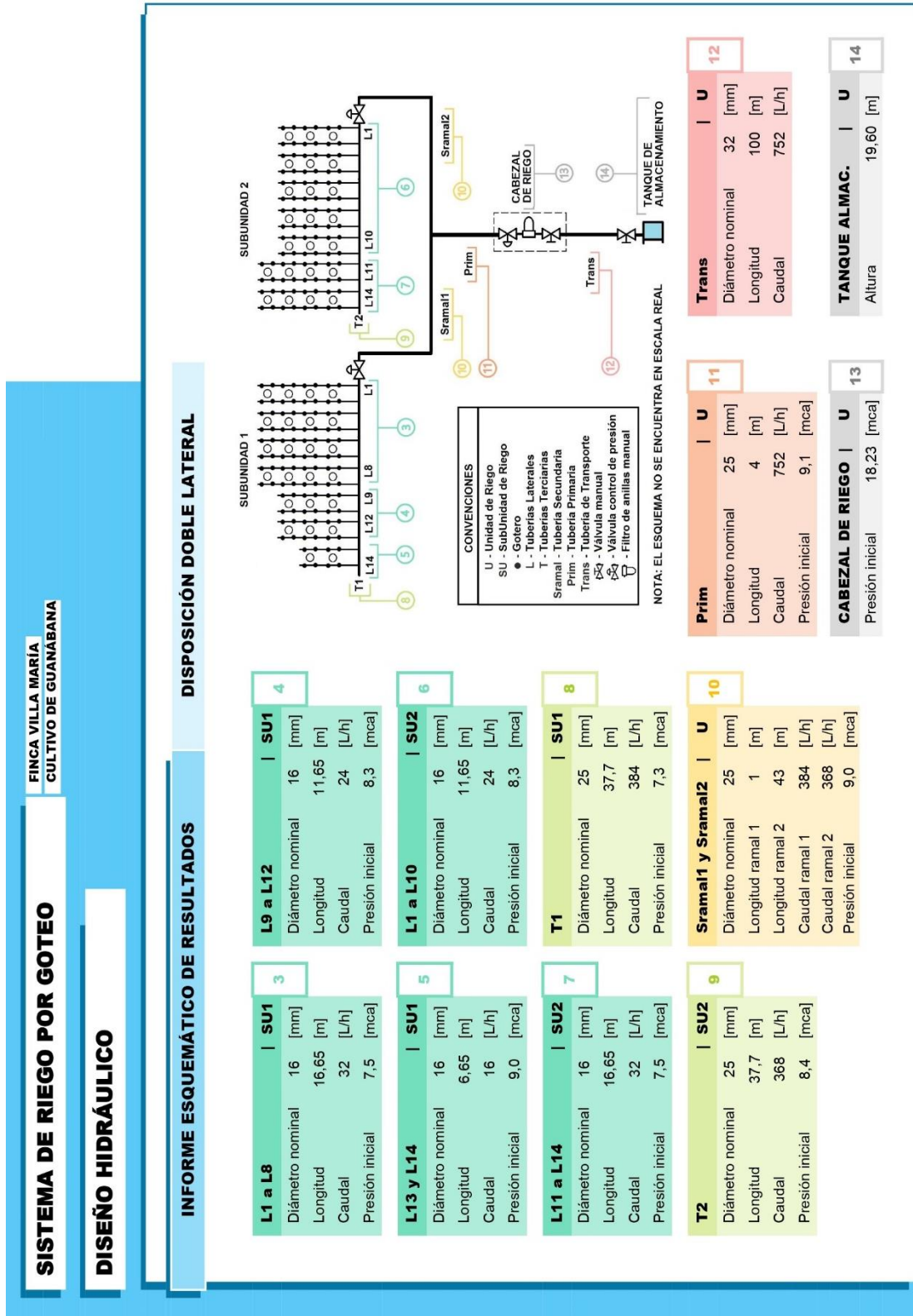


Figura H-9. Propuesta visual – Hoja 7 Informe esquemático de resultados disposición de zigzag.

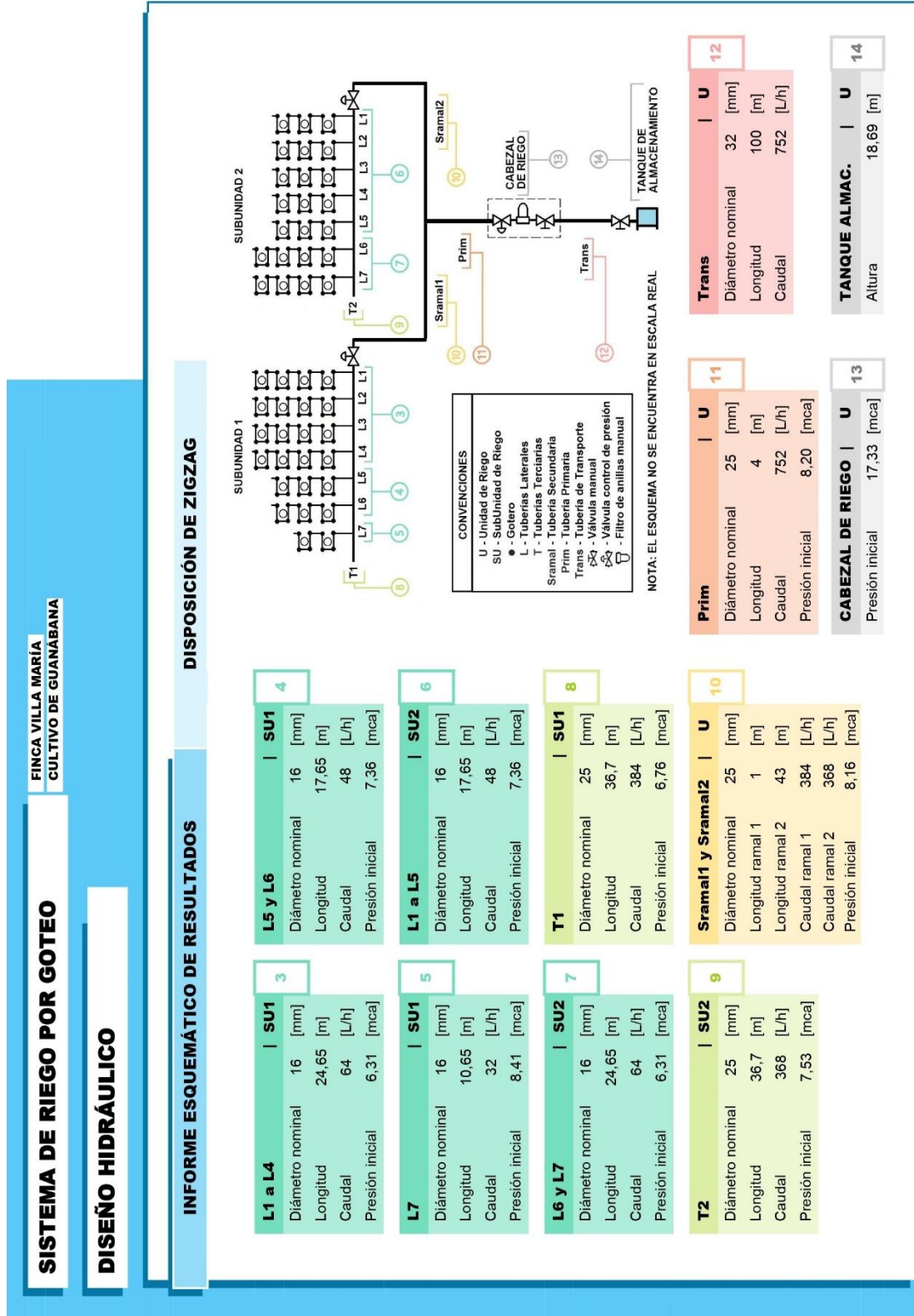


Figura H-10. Propuesta visual – Hoja 8 Comparación de disposiciones.

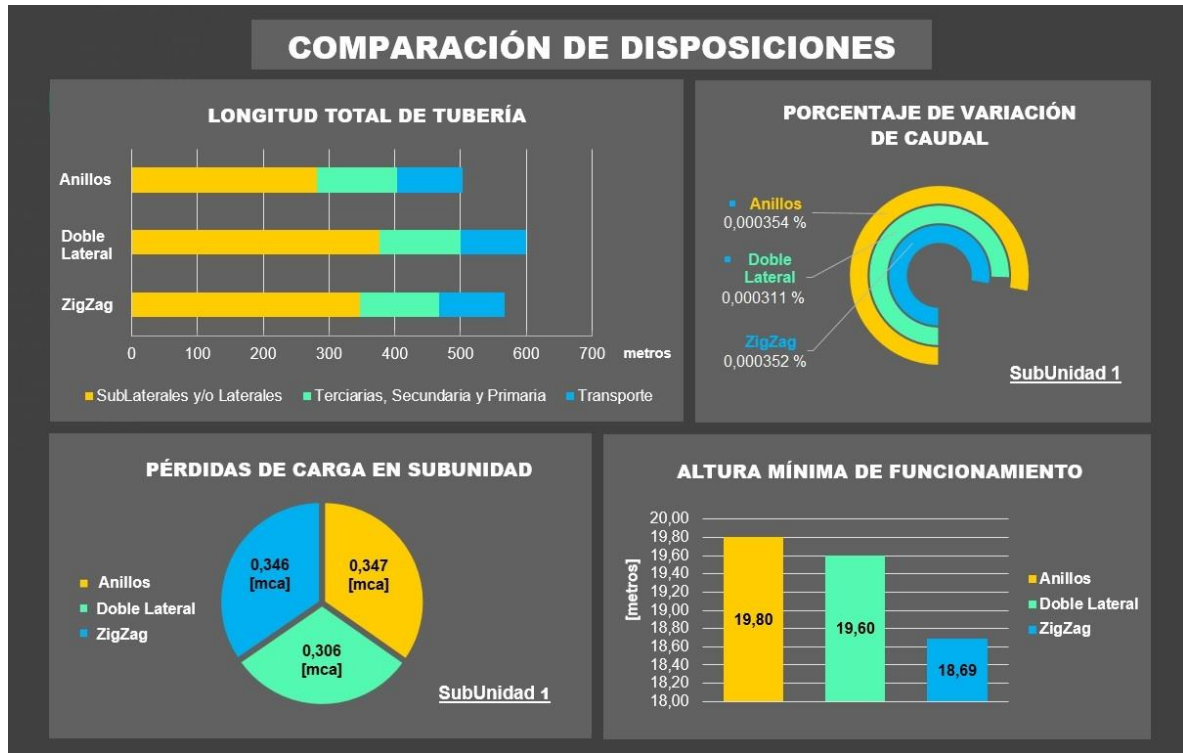


Figura H-11. Propuesta visual – Hoja 1 Libro PROGRAMA\_PRESOLIDWORKS.

MODELAMIENTO 3D CAD

DISPONIBLE SÓLO PARA DISPOSICIÓN DE ANILLOS

→ A continuación, se presenta un resumen de los modelos de tubería seleccionados en la **DISPOSICIÓN DE ANILLOS**.

TUBERÍA	MODELO NETAFIM™
Sublaterales	Modelo 16/4 - 16mm - 5/8"
Laterales	Modelo 16/4 - 16mm - 5/8"
Terciarias	Modelo 25/4 - 25mm - 1"
Secundaria	Modelo 25/4 - 25mm - 1"
Primaria	Modelo 25/4 - 25mm - 1"
Transporte	Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4"
<b>ALTURA MÍNIMA DE FUNCIONAMIENTO</b>	
19,80 [m]	

→ Seleccione únicamente si el equipo en el que se encuentra tiene instalado el software CAD **SOLIDWORKS VERSIÓN 2018** en adelante.

GENERAR  
MODELO 3D CAD

## Anexo I. Fundamentos básicos de Visual Basic para Aplicaciones (VBA)

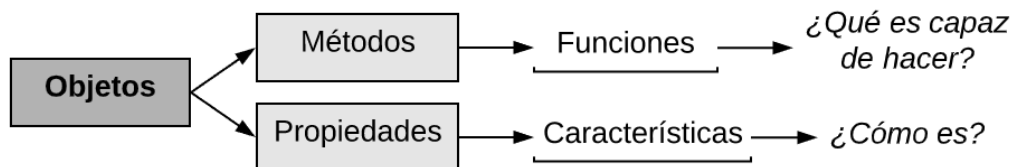
Visual Basic para Aplicaciones (VBA) es el lenguaje de programación orientado a objetos de Microsoft Visual Basic, adaptado a las diferentes aplicaciones que conforman Microsoft Office (Excel, Word, Access, entre otros).

“Visual Basic para Aplicaciones permite la construcción de funciones definidas por el usuario, la automatización de los procesos y el acceso a la API de Windows y otras funcionalidades de bajo nivel a través de las bibliotecas de vínculos dinámicos (DLL)”<sup>113</sup>. A continuación, se presentan fundamentos básicos en el lenguaje de programación VBA. A modo de aclaración, la programación en VBA es un tema tan extenso que está fuera de los alcances de este proyecto, por lo que en este anexo se pretende abordar lo básico.

### I.1. POO – Programación Orientada a Objetos

Como en todos los lenguajes de programación, Visual Basic para Aplicaciones busca establecer una analogía entre la vida real y el código de lenguaje de programación. VBA expone diferentes elementos, denominados objetos, que reciben instrucciones para ejecutar una determinada acción. Estos objetos poseen métodos (funciones) y propiedades (características).

Figura I-1. Métodos y propiedades de Objetos.



<sup>113</sup> IRUELA, Juan. Qué es VBA. [En línea] En: Revista digital Inesem. 2016. (Recuperado en: 3 de agosto de 2020). Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/informatica-y-tics/que-es-vba/>

--- **Colecciones.** Las colecciones son un grupo de objetos de la misma clase. En Excel, las principales colecciones sobre las que recae toda la funcionalidad son los *Workbooks* (libros) y *Worksheets* (hojas).

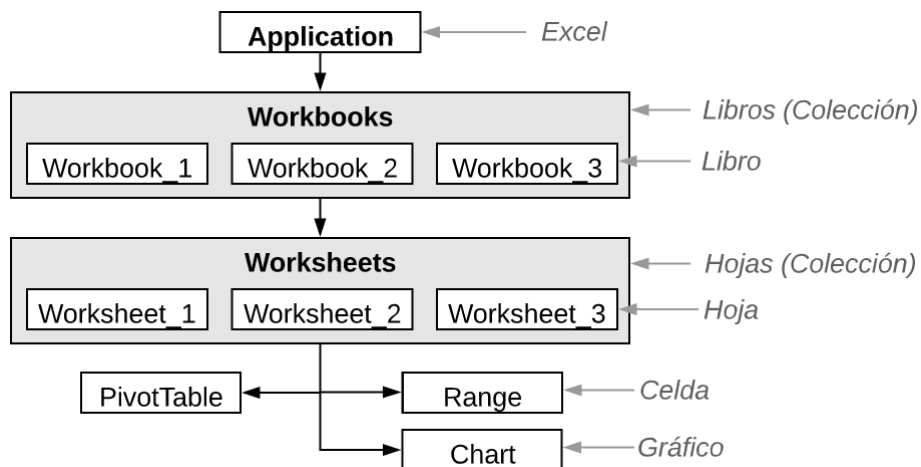
--- **Jerarquía de Objetos.** Los desarrolladores organizan los objetos en el lenguaje de programación en una jerarquía. Este modelo de organización es un reflejo de la aplicación y sus funciones. La Figura I-2 muestra un diagrama básico simplificado de la jerarquía de objetos en Microsoft Excel.

--- **Referenciar objetos.** Para referenciar objetos en lenguaje de programación VBA se usa la "jerarquía del punto". Por ejemplo, si se desea dar un valor numérico de 5 a la celda B1 de la hoja 1 de un libro abierto en la aplicación de Microsoft Excel en VBA:

*Application.workbooks("Libro1").worksheets("Hoja1").range("B1").value = 5*

En términos del lenguaje común se traduce a: *Excel.Libro.Hoja.Celda.valor = 5*

Figura I-2. Diagrama básico simplificado de la jerarquía de objetos en Microsoft Excel.



## I.2. Tipos de datos

En programación, los datos representan información sin procesar que ha sido suministrada al computador. Los datos poseen valores que pueden ser de distintos tipos como se muestra en la Tabla I-1.

Tabla I-1. Tipos de datos en VBA.

<b>Tipos de Datos</b>	<b>Descripción del valor almacenado</b>
byte	Valores numéricos desde 0 hasta 255
boolean	Dos valores: verdadero (TRUE=1) y falso (FALSE=0)
integer	Números enteros entre -32768 y 32767
long	Números enteros entre -2.147.483.648 y 2.147.483.647
single	Números decimales (parte decimal corta) para valores positivos desde 1,401298E-45 a 3.402823E38 y para valores negativos desde -3.402823E38 a -1,401298E-45
double	Números decimales (parte decimal larga) para valores positivos desde 4,94065645841247E-324 a 1.79769313486232E308 y para valores negativos desde -1.79769313486232E308 a -4,94065645841247E-324
decimal	Números enteros y decimales (parte decimal extremadamente larga)
currency	Números enteros ajustados para presentarse de tipo Moneda
string	Cadena de caracteres (texto)
object	Cualquier instancia de objeto que la aplicación reconozca
date	Número con formato especial que puede representar la fecha o la hora
variant	Valores numéricos y no numéricos. Almacena todos los tipos de datos

## I.3. Variables

Las variables almacenan datos dentro del código de programación. Es un espacio en la memoria del computador donde es posible almacenar un valor que puede variar a lo largo de la ejecución de un programa.

--- **Sintaxis de declaración de variables.** Las variables deben declararse para poder usarse dentro de un procedimiento o módulo (según se desee). Las palabras reservadas en el lenguaje VBA aparecen por defecto de color azul. Cuando se va a declarar una variable se debe especificar ámbito de la variable y tipo de dato que va a almacenar. En la Figura I-3 dentro del procedimiento “datos\_personales” se declaran variables de tipo *string* (texto) e *integer* (número entero) para almacenar los valores asignados posteriormente.

Figura I-3. Sintaxis de declaración de variables.

```
Sub datos_personales()

    'Declaración de variables:
    Dim nombre As String
    Dim edad As Integer

    'Iniciación de variables:
    nombre = "Marian"
    edad = "23"

End Sub
```

--- **Ámbitos de las variables.** Las variables pueden ser usadas para un procedimiento, un módulo o para todos los módulos presentes en un proyecto.

Tabla I-2. Ámbitos de las variables

Ámbito de la variable	Palabra reservada	Descripción
Local a nivel de procedimiento	Dim	La variable sólo puede ser inicializada dentro del procedimiento
Local a nivel de módulo	Dim	La variable funciona dentro de todo el módulo (todos los procedimientos que pertenezcan al módulo)
Pública	Public	La variable se puede usar dentro de todos los módulos presentes en el proyecto

--- **Variables objeto.** Son variables que almacenan datos de tipo objeto. Este tipo de variables es muy común para guardar una instancia de objeto reconocida por la aplicación que vaya a ser usada en varias instrucciones. Cuando las variables se declaran directamente con el tipo de objeto específico que van a almacenar se ayuda al código a ejecutarse de forma más eficiente. Para inicializar una variable objeto se debe usar la palabra reservada *Set*.

La Figura I-4 muestra cómo declarar, inicializar y asignarle valor a una variable de tipo *range* (objeto reconocido por Microsoft Excel como Celda).

Figura I-4. Variables objeto.

```
Sub variable_objeto()  
  
    'Declaración de variable objeto:  
    Dim celda As Range  
  
    'Inicialización de variable objeto:  
    Set celda = Worksheet(1).Range("a1")  
  
    'Asignación de valor a variable objeto:  
    celda.Value = 23  
  
End Sub
```

#### I.4. Constantes

Las constantes, como su nombre lo indica, son un espacio en la memoria del computador donde se pueden almacenar valores fijos.

--- **Sintaxis de declaración de constantes.** A diferencia de las variables, el valor de las constantes es fijo y debe inicializarse dentro de la misma declaración. En las constantes no es necesario especificar el tipo de dato que se va a almacenar, pero es una práctica altamente recomendable para hacer buen uso de la memoria del computador.

Figura I-5. Sintaxis de declaración de constantes.

```
'Declaración de constantes.
'---> Sin especificar tipo de dato:
Const valor = 1
'---> Especificando tipo de dato:
Const valor As Integer = 1
```

--- **Ámbitos de las constantes.** Las constantes pueden ser locales a nivel de módulo o públicas. Generalmente, se trabajan en cada módulo.

Tabla I-2. Ámbitos de las variables.

Ámbito de la constante	Palabra reservada	Descripción
Local a nivel de módulo	Const	La constante funciona dentro de todo el módulo (todos los procedimientos que pertenezcan al módulo)
Pública	Public const	La constante se puede usar dentro de todos los módulos presentes en el proyecto

### I.5. Procedimientos

Un bloque de instrucciones delimitado por declaraciones (inicial y final) se denomina procedimiento. En VBA se tienen diferentes tipos de procedimiento: *Function*, *Sub*, *Property* y *Operator*. Los más destacados son los *Sub* y *Function*. En general, los procedimientos cuentan con diferentes modificadores de acceso (desde dónde se puede acceder al procedimiento) similares a los ámbitos de las variables. Por defecto, todos son accesibles desde cualquier módulo: *Public*.

--- **Procedimientos Sub.** Se caracterizan por no devolver un valor específico; es decir, el procedimiento se ejecuta y cuando finaliza no devuelve ningún valor de las tareas realizadas. La sintaxis de declaración de procedimientos establece que debe estar entre las instrucciones *Sub* y *End sub* (véase Figura I-3 y Figura I-4).

--- **Procedimientos Function.** A diferencia de los procedimientos *Sub*, los *Function* sí devuelven un valor específico cuando finaliza su ejecución. El tipo de valor que devuelve debe especificarse en la declaración del procedimiento. La sintaxis de declaración de procedimientos *Function* se muestra en la Figura I-6.

Figura I-6. Sintaxis de declaración de procedimientos *Function*.

```
Function operacion_resta() As Integer

    'Declaración de variables:
    Dim valor1 As Integer, valor2 As Integer

    'Inicialización de variables:
    valor1 = 15: valor2 = 10

    'Especificación del valor a devolver:
    operacion_resta = valor1 - valor2

End Function
```

Los procedimientos *Function* no se ejecutan a menos que sean convocados. Se pueden llamar desde otro procedimiento o un evento (por ejemplo, oprimir un botón). Adicionalmente, este tipo de procedimientos puede aceptar argumentos, datos que recibe el procedimiento para utilizarlos en las instrucciones de su interior, que se le transfieren desde el código de llamada.

Figura I-7. Paso de argumentos (parámetros) al procedimiento *Function*.

```
'Note que para los argumentos (valor1 y valor2) debe especificarse el tipo de dato:
Function operacion_resta(valor1 As Integer, valor2 As Integer) As Integer
    'Especificación del valor a devolver:
    operacion_resta = valor1 - valor2
End Function

'Procedimiento Sub para llamar al procedimiento function:
Sub llamada_resta()
    'Declaración de variable para almacenar valor específico devuelto:
    Dim resultado As Integer
    'Paso de parámetros:
    resultado = operacion_resta(15, 10)
End Sub
```

## **Anexo J. Macros en Excel y SolidWorks de la aplicación "PROGRAMA DE CÁLCULO - CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA"**

En este anexo se va a adjuntar el código completo perteneciente a las Macros en Excel y SolidWorks para el desarrollo de la aplicación "PROGRAMA DE CÁLCULO - CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA".

### **J.1. Macros en Excel**

Todos los componentes del libro se listan en el *Explorador de proyectos*: Para el desarrollo de la aplicación se necesitaron dos libros. El libro principal titulado "PROGRAMA DE CÁLCULO – CULTIVO GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA" contiene el código asociado a los cálculos y constituye toda la aplicación como tal. El libro secundario "RESULTADOS\_PRESOLIDWORKS" es un apartado para generar el Modelo 3D CAD, y no posee más de unas cuantas líneas de código que se encargan de abrir y ejecutar la Macro en SolidWorks.

#### **J.1.1. Libro: "PROGRAMA DE CÁLCULO - CULTIVO DE GUANÁBANA FINCA VILLA MARÍA"**

La Hoja 9 " " presente en el libro (véase Figura J-1) no contiene ningún código VBA asociado. El propósito de esta hoja es meramente estético: carece de contenido, todas las celdas son de color gris y genera fondo de contraste durante la ejecución de las Ventanas de Bienvenida y Contenido (véase Figura H-1).

Figura J-1. Explorador de proyectos.

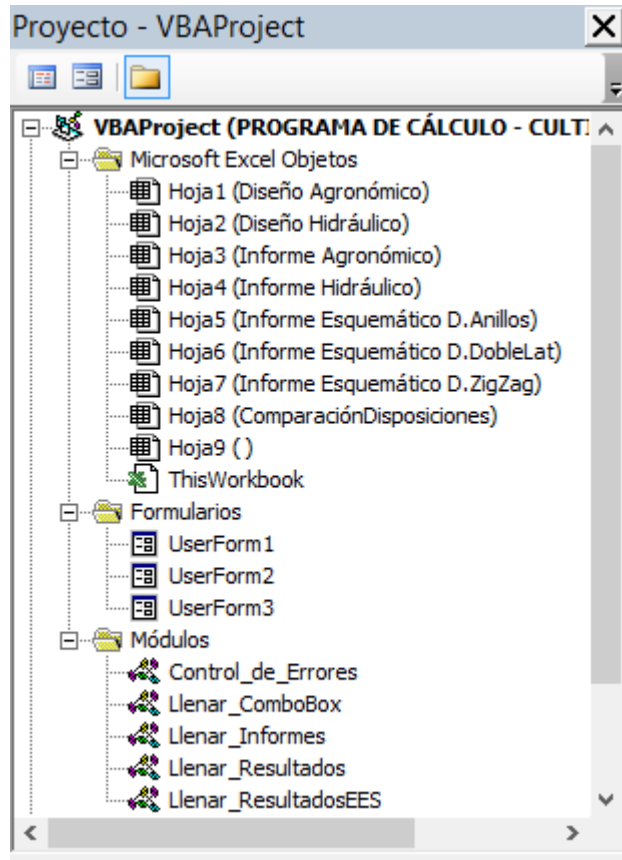


Figura J-2. Código VBA en Hoja 1 “Diseño Agronómico”.

```
Private Sub CheckBox1_Click()  
  
    'Control de errores: Sólo un CheckBox debe estar activado al mismo tiempo.  
    If CheckBox1.Value = True Then '---> Si se activa.  
        Me.CheckBox2.Value = False '---> El CheckBox2 se desactiva.  
    End If  
  
End Sub  
  
Private Sub CheckBox2_Click()  
  
    'Cuando se activa y se desactiva muestra u oculta la Fila 60 y 61:  
    If CheckBox2.Value = True Then '---> Si se activa  
        Me.CheckBox1.Value = False 'Control de errores: Sólo un CheckBox debe estar activado al mis  
        Me.Rows("60:61").EntireRow.Hidden = False '---> Se muestran las Filas 60 y 61.  
    Else '---> Si se desactiva  
        Me.Rows("60:61").EntireRow.Hidden = True '---> Se ocultan las Filas 46 a 59.  
    End If  
  
End Sub
```

```

Private Sub ComboBox2_Change()

    'Control de Errores
    'Si se selecciona una combinación de Mes-Año que no necesite riego, mostrar un Mensaje de Advertenci
    'Llamada al procedimiento encargado:
    Call CE_MesAniovegetativo

End Sub

```

---

```

Private Sub ComboBox1_Change()

    'Control de Errores
    'Si se selecciona una combinación de Mes-Año que no necesite riego, mostrar un Mensaje de Advertenci
    'Llamada al procedimiento encargado:
    Call CE_MesAniovegetativo

End Sub

```

---

```

Private Sub ComboBox5_Change()

    'Cada vez que se selecciona una opción del ComboBox5
    'Se debe llenar el ComboBox6 con los valores correspondientes
    Call CB6H1

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton1_Click()

    'El botón va a mostrar u ocultar la Imagen1
    If Shapes("Image1").Visible = msoTrue Then
        CommandButton1.Caption = "VER"
        CommandButton1.BackColor = "&H80000016"
        Shapes("Image1").Visible = msoFalse
        '----> Si la Imagen1 es visible, entonces.
        '----> El texto del botón cambia a "VER".
        '----> Retoma el color por defecto.
        '----> La Imagen1 deja de ser visible.

    ElseIf Shapes("Image1").Visible = msoFalse Then
        CommandButton1.Caption = "OCULTAR"
        CommandButton1.BackColor = RGB(191, 191, 191)
        Shapes("Image1").Visible = msoTrue
        '----> Si la Imagen1 NO es visible, entonces.
        '----> El texto del botón cambia a "OCULTAR".
        '----> Cambia a un color gris oscuro
        '----> La Imagen1 se vuelve visible.

    End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton2_Click()

    '[NECESIDADES DE RIEGO]
    'Mostrar las Filas ocultas
    Me.Rows("27:31").EntireRow.Hidden = False
    '----> Se muestran las Filas 27 a 31

    'Llenar los Resultados de la Necesidad Neta
    'Llamada al procedimiento encargado
    Call RnN_Boton2

    'Llenar los Resultados de la Necesidad Bruta
    Range("U30").Value = 100 * (Range("U29").Value) / 90

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton3_Click()

    '[DOSIS DE RIEGO - PRIMERA PARTE]
    'Control de Errores Inicial:
    'Sólo se va a calcular si ya se calculó las Necesidades de Riego y el TextBox1 está lleno:

    If Me.Rows("31").EntireRow.Hidden = False Then    '---> Si la Fila 31 es visible.
        If Me.TextBox1.Value = "" Then    '---> Si no hay nada en el TextBox1
            'Mensaje de Advertencia:
            MsgBox "No se ha especificado la Profundidad Efectiva de las Raíces." & vbCrLf & "Por favor,
            Me.TextBox1.Select    '---> Se regresa al TextBox1.

        Else    '---> Si el TextBox1 está lleno, se ejecuta todo el cálculo.
            'Importante: Antes de continuar, se debe asegurar que el TextBox1 esté lleno correctamente.
            'Control de errores:
            Call CE_ProfEffectRaices
            'Si el TextBox1 es correcto, se ejecuta todo el código:
            'Mostrar las Filas ocultas:
            Worksheets(1).Rows("46:59").EntireRow.Hidden = False    '---> Se muestran las Filas 46 a 59.
            Worksheets(1).Rows("62").EntireRow.Hidden = False    '---> Se muestra la Fila 62.
            'Calcular y llenar:
            Call RDn_Boton3    '---> Cálculo y resultados de la Dosis neta (Dn).
            Call RIeIaprox_Boton3    '---> Cálculo y resultados de los Intervalos (I e Iaprox).

        End If
    Else    '---> Si la Fila 31 está oculta.
        MsgBox ";Opción desahabilitada!" & vbCrLf & "Antes de continuar con '2. DOSIS DE RIEGO - Primera
    End If

End Sub

```

```

Private Sub CommandButton4_Click()

    '[DOSIS DE RIEGO - SEGUNDA PARTE]
    'Control de Errores:
    'Verificar si el Check 'No' está activado, si es así, verificar que el TextBox2 es correcto:

    If Me.CheckBox2.Value = True Then    '---> Si el 'No' está activado.
        'Importante: Antes de continuar, se debe asegurar que el TextBox2 esté lleno correctamente.
        'Si está vacío no hacer nada.

        If Me.TextBox2.Value <> "" Then    '---> Si el TextBox2 está lleno.
            'Control de errores: Verificar que el TextBox2 sea correcto.
            Call CE_Iaproxusuario

            'Si el TextBox2 es correcto, se ejecuta todo el código:
            'Mostrar las Filas ocultas:
            Me.Rows("63:68").EntireRow.Hidden = False    '---> Se muestran las Filas 63 a 68.
            'Llamar el procedimiento para calcular:
            Call RfinalesSP_Boton4    '---> Cálculo y resultados finales de la segunda parte.
        Else    '---> Si el TextBox2 está vacío.
            'Mensaje de Advertencia:
            MsgBox "No se ha ingresado ningún valor." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & vbCrLf & "Por
        End If

    Else    '---> Si el 'No' está desactivado.
        'Mostrar las Filas ocultas:
        Me.Rows("63:68").EntireRow.Hidden = False    '---> Se muestran las Filas 63 a 68.
        'Llamar el procedimiento para calcular:
        Call RfinalesSP_Boton4    '---> Cálculo y resultados finales de la segunda parte.
    End If

End Sub

End Sub

```

```

Private Sub CommandButton5_Click()

    '[VARIABLES GENERALES DE RIEGO]

    'Sólo se va a calcular si ya se calcularon las Dosis de Riego - Segunda parte.

    If Me.Rows("68").EntireRow.Hidden = False Then '---> Si la Fila 68 es visible.

        'Control de Errores: Asegurarse que los dos ComboBox estén llenos.
        'Este procedimiento realiza un control de errores sobre los ComboBox 5 y 6.
        'Verificar que el ComboBox5 esté lleno:
        If Me.ComboBox5 <> "" Then '---> Si es diferente de vacío.

            'Verificar que el ComboBox6 esté lleno:
            If Me.ComboBox6 <> "" Then '---> Si es diferente de vacío.

                'Mostrar las Filas ocultas:
                Me.Rows("82:87").EntireRow.Hidden = False '---> Se muestran las Filas 82 a 87.

            '-----> Calcular el valor del Dm_bulbo:
            'Llamada al procedimiento encargado.
            Call CalculoDm_bulbo

                'Ejecutar EES, calcular y traer los resultados:
                'Llamada al procedimiento encargado.
                Call CAgroP3

                'Copiar y pegar los resultados de EES en las casillas correspondientes.
                Range("U84").Value = Range("AR84").Value '---> Para ne.
                Range("U85").Value = Range("AS84").Value '---> Para ta.
                Range("U86").Value = Range("AT84").Value '---> Para Dist_goteros.

                'Regresar el foco del usuario a los resultados:
                Range("G83").Select

            Else '---> Si está vacío.
                'Mensaje de Advertencia:
                MsgBox "No se ha especificado el Caudal del Gotero." & vbCrLf & "Antes de continuar..."
            End If

            Else '---> Si está vacío.
                'Mensaje de Advertencia:
                MsgBox "No se ha especificado el Tipo de Gotero." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & vbCrLf
            End If

        Else '---> Si la Fila 68 está oculta.
            MsgBox ";Opción desahabilitada!" & vbCrLf & "Antes de continuar con '3. VARIABLES GENERALES DE F
        End If

    End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton6_Click()

    '[GENERAR INFORME AGRONÓMICO]

    'Control de Errores: Sólo se va a ejecutar si ya se ha calculado todo el Diseño Agronómico:
    'Se va a verificar que la Fila 87 sea visible.

    If Me.Rows("87").EntireRow.Hidden = False Then '---> Si la Fila 87 es visible.
        'Mostrar y seleccionar la Hoja del Informe Agronómico:
        Worksheets(3).Visible = xlSheetVisible
    End If

```

```

Worksheets(3).Select
ActiveWindow.DisplayHeadings = False    '---> Ocultar encabezados.

'Llamada al procedimiento encargado de Llenar el Informe:
Call InformeAgro
'Mensaje de Información:
MsgBox "¡El Informe Agronómico se ha generado correctamente!", vbInformation, "Información"

'Selecciona un celda para cambiar el foco al usuario:
Worksheets(3).Range("D15").Select
Else    '---> Si la Fila 87 está oculta.
MsgBox " ; Botón deshabilitado !" & vbCrLf & "El informe sólo puede generarse" & vbCrLf & "despu
End If

```

End Sub

```
Private Sub CommandButton7_Click()
```

```

'[CONTINUAR >>]

'Control de Errores: Sólo se va a ejecutar si ya se ha calculado todo el Diseño Agronómico:
'Se va a verificar que la Fila 87 sea visible.

If Me.Rows("87").EntireRow.Hidden = False Then    '---> Si la Fila 87 es visible.

    'Mostrar y seleccionar la Hoja del Diseño Hidráulico:
    Worksheets(2).Visible = xlSheetVisible
    Worksheets(2).Select
    ActiveWindow.DisplayHeadings = False    '---> Ocultar encabezados.

    'Llenar los valores de la Información del Gotero.
    'Llamar al procedimiento encargado:
    Call RInfoTecnicaGotero

    'Ocultar todas las filas necesarias de la Hoja 2.
    'Filas del Diseño Hidráulico:
    Worksheets(2).Rows("23:249").EntireRow.Hidden = True    '---> Se ocultan las Filas 23 a 249.
    'Filas del Modelamiento 3D CAD:
    Worksheets(2).Rows("254:267").EntireRow.Hidden = True    '---> Se ocultan las Filas 254 a 267.

    'Selecciona un celda para cambiar el foco al usuario:
    Worksheets(2).Range("D15").Select

Else    '---> Si la Fila 87 está oculta.
MsgBox " ; Botón deshabilitado !" & vbCrLf & "Antes de continuar" & vbCrLf & "asegúrese de compl
End If

```

End Sub

```
Private Sub TextBox1_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
```

```

'Control de Errores Inicial:
'En este evento se captura la tecla pulsada y se almacena en la variable KeyAscii

If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57) Then    '---> Si la tecla pulsada no es 0 a 9
    KeyAscii = 0    '---> Se devuelve el valor Null = No se toma el valor
End If

'NOTA: Para más información sobre el código Ascii y los valores que devuelve buscar en internet.

```

End Sub

```

Private Sub TextBox2_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)

    'Control de Errores Inicial:
    'En este evento se captura la tecla pulsada y se almacena en la variable KeyAscii

    If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57) Then '---> Si la tecla pulsada no es 0 a 9
        KeyAscii = 0 '---> Se devuelve el valor Null = No se toma el valor
    End If

    'NOTA: Para más información sobre el código Ascii y los valores que devuelve buscar en internet.

End Sub

```

Figura J-3. Código VBA en Hoja 2 “Diseño Hidráulico”.

```

Private Sub ComboBox1_Change()

    '[DISPOSICIONES]

    'Mostrar todas las filas ocultas:

    Me.Rows("23:71").EntireRow.Hidden = False '---> Se muestran las Filas 23 a 71.
    Me.Rows("153:183").EntireRow.Hidden = False '---> Se muestran las Filas 153 a 183.
    Me.Rows("250:267").EntireRow.Hidden = False '---> Se muestran la Fila 250 a 267.

    'Control de Errores: Ocultar/Mostrar los botones y las filas correspondientes a cada disposición.
    'Llamada al procedimiento encargado:
    Call CE_Disposiciones

End Sub

```

---

```

Private Sub ComboBox10_Change()

    '[TRANSPORTE]

    'Dependiendo de la selección, llenar las celdas de la tabla informativa.
    If Me.ComboBox10.Value = "Modelo 25/4 - 25mm - 1'" Then '---> Si es el Modelo 25/4
        Range("V179").Value = 25
        Range("V180").Value = 1.5
    ElseIf Me.ComboBox10.Value = "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'" Then '---> Si es el Modelo 32/4
        Range("V179").Value = 32
        Range("V180").Value = 1.3
    ElseIf Me.ComboBox10.Value = "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'" Then '---> Si es el Modelo 32/4 S
        Range("V179").Value = 32
        Range("V180").Value = 2.4
    ElseIf Me.ComboBox10.Value = "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es el Modelo 40/4
        Range("V179").Value = 40
        Range("V180").Value = 1.6
    ElseIf Me.ComboBox10.Value = "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es el Modelo 40/4 S
        Range("V179").Value = 40
        Range("V180").Value = 3
    ElseIf Me.ComboBox10.Value = "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es el Modelo 40/5
        Range("V179").Value = 40
        Range("V180").Value = 1.9
    ElseIf Me.ComboBox10.Value = "Modelo 50/4 - 50mm - 2'" Then '---> Si es el Modelo 50/4
        Range("V179").Value = 50
        Range("V180").Value = 2
    End If

```

```

ElseIf Me.ComboBox10.Value = "Modelo 50/5 - 50mm - 2'" Then '----> Si es el Modelo 50/5
    Range("V179").Value = 50
    Range("V180").Value = 2.4
ElseIf Me.ComboBox10.Value = "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 63/4
    Range("V179").Value = 63
    Range("V180").Value = 2.5
ElseIf Me.ComboBox10.Value = "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 63/6
    Range("V179").Value = 63
    Range("V180").Value = 3
End If
End Sub

```

---

```

Private Sub ComboBox2_Change()

    '[SUBLATERAL 1]

    'Dependiendo de la selección, llenar las celdas de la tabla informativa.
If Me.ComboBox2.Value = "Modelo 16/4 - 16mm - 5/8'" Then '----> Si es el Modelo 16/4
    Range("J51").Value = 16
    Range("J52").Value = 1
ElseIf Me.ComboBox2.Value = "Modelo 20/4 - 20mm - 3/4'" Then '----> Si es el Modelo 20/4
    Range("J51").Value = 20
    Range("J52").Value = 1.2
End If

End Sub

```

---

```

Private Sub ComboBox3_Change()

    '[SUBLATERAL 2]

    'Dependiendo de la selección, llenar las celdas de la tabla informativa.
If Me.ComboBox3.Value = "Modelo 16/4 - 16mm - 5/8'" Then '----> Si es el Modelo 16/4
    Range("W51").Value = 16
ElseIf Me.ComboBox3.Value = "Modelo 20/4 - 20mm - 3/4'" Then '----> Si es el Modelo 20/4
    Range("W51").Value = 20
    Range("W52").Value = 1.2
End If

End Sub

```

---

```

Private Sub ComboBox4_Change()

    '[LATERAL 1]

    'Dependiendo de la selección, llenar las celdas de la tabla informativa.
If Me.ComboBox4.Value = "Modelo 16/4 - 16mm - 5/8'" Then '----> Si es el Modelo 16/4
    Range("J59").Value = 16
    Range("J60").Value = 1
ElseIf Me.ComboBox4.Value = "Modelo 20/4 - 20mm - 3/4'" Then '----> Si es el Modelo 20/4
    Range("J59").Value = 20
    Range("J60").Value = 1.2
End If

End Sub

```

---

```

Private Sub ComboBox5_Change()

    '[LATERAL 2]

    'Dependiendo de la selección, llenar las celdas de la tabla informativa.
If Me.ComboBox5.Value = "Modelo 16/4 - 16mm - 5/8'" Then '----> Si es el Modelo 16/4

```

```

        Range("W59").Value = 16
        Range("W60").Value = 1
    ElseIf Me.ComboBox5.Value = "Modelo 20/4 - 20mm - 3/4'" Then '----> Si es el Modelo 20/4
        Range("W59").Value = 20
        Range("W60").Value = 1.2
    End If

End Sub

Private Sub ComboBox6_Change()

    '[TERCIARIA 1]

    'Dependiendo de la selección, llenar las celdas de la tabla informativa.
    If Me.ComboBox6.Value = "Modelo 25/4 - 25mm - 1'" Then '----> Si es el Modelo 25/4
        Range("J67").Value = 25
        Range("J68").Value = 1.5
    ElseIf Me.ComboBox6.Value = "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'" Then '----> Si es el Modelo 32/4
        Range("J67").Value = 32
        Range("J68").Value = 1.3
    ElseIf Me.ComboBox6.Value = "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'" Then '----> Si es el Modelo 32/4 S
        Range("J67").Value = 32
        Range("J68").Value = 2.4
    ElseIf Me.ComboBox6.Value = "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 40/4
        Range("J67").Value = 40
        Range("J68").Value = 1.6
    ElseIf Me.ComboBox6.Value = "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 40/4 S
        Range("J67").Value = 40
        Range("J68").Value = 3
    ElseIf Me.ComboBox6.Value = "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 40/5
        Range("J67").Value = 40
        Range("J68").Value = 1.9
    ElseIf Me.ComboBox6.Value = "Modelo 50/4 - 50mm - 2'" Then '----> Si es el Modelo 50/4
        Range("J67").Value = 50
        Range("J68").Value = 2
    ElseIf Me.ComboBox6.Value = "Modelo 50/5 - 50mm - 2'" Then '----> Si es el Modelo 50/5
        Range("J67").Value = 50
        Range("J68").Value = 2.4
    ElseIf Me.ComboBox6.Value = "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 63/4
        Range("J67").Value = 63
        Range("J68").Value = 2.5
    ElseIf Me.ComboBox6.Value = "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 63/6
        Range("J67").Value = 63
        Range("J68").Value = 3
    End If

End Sub

Private Sub ComboBox7_Change()

    '[TERCIARIA 2]

    'Dependiendo de la selección, llenar las celdas de la tabla informativa.
    If Me.ComboBox7.Value = "Modelo 25/4 - 25mm - 1'" Then '----> Si es el Modelo 25/4
        Range("W67").Value = 25
        Range("W68").Value = 1.5
    ElseIf Me.ComboBox7.Value = "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'" Then '----> Si es el Modelo 32/4
        Range("W67").Value = 32
        Range("W68").Value = 1.3
    ElseIf Me.ComboBox7.Value = "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'" Then '----> Si es el Modelo 32/4 S
        Range("W67").Value = 32
        Range("W68").Value = 2.4
    ElseIf Me.ComboBox7.Value = "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 40/4

```

```

        Range("W67").Value = 40
        Range("W68").Value = 1.6
    ElseIf Me.ComboBox7.Value = "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 40/4 Si
        Range("W67").Value = 40
        Range("W68").Value = 3
    ElseIf Me.ComboBox7.Value = "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 40/5
        Range("W67").Value = 40
        Range("W68").Value = 1.9
    ElseIf Me.ComboBox7.Value = "Modelo 50/4 - 50mm - 2'" Then '----> Si es el Modelo 50/4
        Range("W67").Value = 50
        Range("W68").Value = 2
    ElseIf Me.ComboBox7.Value = "Modelo 50/5 - 50mm - 2'" Then '----> Si es el Modelo 50/5
        Range("W67").Value = 50
        Range("W68").Value = 2.4
    ElseIf Me.ComboBox7.Value = "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 63/4
        Range("W67").Value = 63
        Range("W68").Value = 2.5
    ElseIf Me.ComboBox7.Value = "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 63/6
        Range("W67").Value = 63
        Range("W68").Value = 3
    End If

```

End Sub

---

```
Private Sub ComboBox8_Change()
```

```
' [SECUNDARIAS]
```

```
' Dependiendo de la selección, llenar las celdas de la tabla informativa.
```

```

If Me.ComboBox8.Value = "Modelo 25/4 - 25mm - 1'" Then '----> Si es el Modelo 25/4
    Range("J164").Value = 25
    Range("J165").Value = 1.5
ElseIf Me.ComboBox8.Value = "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'" Then '----> Si es el Modelo 32/4
    Range("J164").Value = 32
    Range("J165").Value = 1.3
ElseIf Me.ComboBox8.Value = "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'" Then '----> Si es el Modelo 32/4 Si
    Range("J164").Value = 32
    Range("J165").Value = 2.4
ElseIf Me.ComboBox8.Value = "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 40/4
    Range("J164").Value = 40
    Range("J165").Value = 1.6
ElseIf Me.ComboBox8.Value = "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 40/4 Si
    Range("J164").Value = 40
    Range("J165").Value = 3
ElseIf Me.ComboBox8.Value = "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 40/5
    Range("J164").Value = 40
    Range("J165").Value = 1.9
ElseIf Me.ComboBox8.Value = "Modelo 50/4 - 50mm - 2'" Then '----> Si es el Modelo 50/4
    Range("J164").Value = 50
    Range("J165").Value = 2
ElseIf Me.ComboBox8.Value = "Modelo 50/5 - 50mm - 2'" Then '----> Si es el Modelo 50/5
    Range("J164").Value = 50
    Range("J165").Value = 2.4
ElseIf Me.ComboBox8.Value = "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 63/4
    Range("J164").Value = 63
    Range("J165").Value = 2.5
ElseIf Me.ComboBox8.Value = "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'" Then '----> Si es el Modelo 63/6
    Range("J164").Value = 63
    Range("J165").Value = 3
    End If

```

End Sub

---

```

Private Sub ComboBox9_Change()

    '[PRIMARIA]

    'Dependiendo de la selección, llenar las celdas de la tabla informativa.
    If Me.ComboBox9.Value = "Modelo 25/4 - 25mm - 1'" Then    '----> Si es el Modelo 25/4
        Range("W164").Value = 25
        Range("W165").Value = 1.5
    ElseIf Me.ComboBox9.Value = "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'" Then    '----> Si es el Modelo 32/4
        Range("W164").Value = 32
        Range("W165").Value = 1.3
    ElseIf Me.ComboBox9.Value = "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'" Then    '----> Si es el Modelo 32/4 S
        Range("W164").Value = 32
        Range("W165").Value = 2.4
    ElseIf Me.ComboBox9.Value = "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'" Then    '----> Si es el Modelo 40/4
        Range("W164").Value = 40
        Range("W165").Value = 1.6
    ElseIf Me.ComboBox9.Value = "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'" Then    '----> Si es el Modelo 40/4 S
        Range("W164").Value = 40
        Range("W165").Value = 3
    ElseIf Me.ComboBox9.Value = "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'" Then    '----> Si es el Modelo 40/5
        Range("W164").Value = 40
        Range("W165").Value = 1.9
    ElseIf Me.ComboBox9.Value = "Modelo 50/4 - 50mm - 2'" Then    '----> Si es el Modelo 50/4
        Range("W164").Value = 50
        Range("W165").Value = 2
    ElseIf Me.ComboBox9.Value = "Modelo 50/5 - 50mm - 2'" Then    '----> Si es el Modelo 50/5
        Range("W164").Value = 50
        Range("W165").Value = 2.4
    ElseIf Me.ComboBox9.Value = "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'" Then    '----> Si es el Modelo 63/4
        Range("W164").Value = 63
        Range("W165").Value = 2.5
    ElseIf Me.ComboBox9.Value = "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'" Then    '----> Si es el Modelo 63/6
        Range("W164").Value = 63
        Range("W165").Value = 3
    End If

```

End Sub

---

```

Private Sub CommandButton1_Click()

    'El botón va a mostrar u ocultar la Imagen1
    If Shapes("Image1").Visible = msoTrue Then    '----> Si la Imagen1 es visible, entonces.
        CommandButton1.Caption = "VER"    '----> El texto del botón cambia a "VER".
        CommandButton1.BackColor = "&H80000016"    '----> Retoma el color por defecto.
        Shapes("Image1").Visible = msoFalse    '----> La Imagen1 deja de ser visible.

    ElseIf Shapes("Image1").Visible = msoFalse Then    '----> Si la Imagen1 NO es visible, entonces.
        CommandButton1.Caption = "OCULTAR"    '----> El texto del botón cambia a "OCULTAR".
        CommandButton1.BackColor = RGB(191, 191, 191)    '----> Cambia a un color gris oscuro
        Shapes("Image1").Visible = msoTrue    '----> La Imagen1 se vuelve visible.

    End If

```

End Sub

---

```

Private Sub CommandButton10_Click()

'[UNIDAD - DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL]

'Control de Errores Inicial: Sólo se ejecuta si ya se cálculo la FASE 1. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.
If Me.Rows("128").EntireRow.Hidden = False Then '---> Si la Fila 128 es visible.

'Control de Errores: Sólo se calcula si los ComboBox están llenos.
If Me.ComboBox8.Value <> "" Then '---> Secundarias seleccionada.

    If Me.ComboBox9.Value <> "" Then '---> Primaria seleccionada.

        If Me.ComboBox10.Value <> "" Then '---> Transporte seleccionada.
'----->'Ejecutar todo el procedimiento:
        'Mostrar las Filas Ocultas:
        Me.Rows("206:227").EntireRow.Hidden = False '---> Se muestran las Filas 206 a 227

        'Organizar los valores necesarios antes de ir a EES.
        'Llamada al procedimiento encargado:
        Call RUnidadDL

        'Calcular y llenar los resultados obtenidos en EES.
        'Llamada al procedimiento encargado:
        Call CHDLUnidad

        'Copiar y pegar los resultados de EES en las casillas correspondientes:
        'Llamada al procedimiento encargado:
        Call RFinialesUnidadDL

        'Regresar el foco del usuario a los resultados:
        Range("G207").Select

    Else '---> Transporte no seleccionada.
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox "No se ha seleccionado la tubería de transporte." & vbCrLf & "Antes de contin
    End If

    Else '---> Primaria no seleccionada.
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox "No se ha seleccionado la tubería primaria." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & v
    End If

    Else '---> Secundarias no seleccionadas.
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox "No se ha seleccionado la tubería secundaria." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & v
    End If

Else '---> Fila 128 oculta.
    'Mensaje de Advertencia:
    MsgBox ";Opción desahabilitada!" & vbCrLf & "Antes de continuar con 'FASE 2. SISTEMA DE TRANSPOR
End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton11_Click()

'[UNIDAD - DISPOSICIÓN DE ZIGZAG]

'Control de Errores Inicial: Sólo se ejecuta si ya se cálculo la FASE 1. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.
If Me.Rows("152").EntireRow.Hidden = False Then '---> Si la Fila 152 es visible.

```

```

'Control de Errores: Sólo se calcula si los ComboBox están llenos.
If Me.ComboBox8.Value <> "" Then '---> Secundarias seleccionada.

    If Me.ComboBox9.Value <> "" Then      '---> Primaria seleccionada.

        If Me.ComboBox10.Value <> "" Then      '---> Transporte seleccionada.
'----->'Ejecutar todo el procedimiento:
        'Mostrar las Filas Ocultas:
        Me.Rows("228:249").EntireRow.Hidden = False      '---> Se muestran las Filas 206 a 227

        'Organizar los valores necesarios antes de ir a EES.
        'Llamada al procedimiento encargado:
        Call RUnidadZZ

        'Calcular y llenar los resultados obtenidos en EES.
        'Llamada al procedimiento encargado:
        Call CHZZUnidad

        'Copiar y pegar los resultados de EES en las casillas correspondientes:
        'Llamada al procedimiento encargado:
        Call RFinalesUnidadZZ

        'Regresar el foco del usuario a los resultados:
        Range("G229").Select

    Else      '---> Transporte no seleccionada.
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox "No se ha seleccionado la tubería de transporte." & vbCrLf & "Antes de contir
    End If

    Else      '---> Primaria no seleccionada.
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox "No se ha seleccionado la tubería primaria." & vbCrLf & "Antes de continuar..." &
    End If

    Else      '---> Secundarias no seleccionadas.
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox "No se ha seleccionado la tubería secundaria." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & v
    End If

Else      '---> Fila 152 oculta.
    'Mensaje de Advertencia:
    MsgBox ";Opción desahabilitada!" & vbCrLf & "Antes de continuar con 'FASE 2. SISTEMA DE TRANSPOR
End If

```

End Sub

```

Private Sub CommandButton12_Click()

    '[GENERAR INFORME HIDRÁULICO]

    'Control de Errores: Sólo se va a ejecutar si ya se ha calculado todo el Diseño Hidráulico:
    'Se va a verificar que alguna de las Filas 205, 227 o 249 sea visible.

    If ((Me.Rows("205").EntireRow.Hidden = False) Or (Me.Rows("227").EntireRow.Hidden = False) Or (Me.Ro
    'Mostrar y seleccionar la Hoja del Informe Hidráulico:
    Worksheets(4).Visible = xlSheetVisible
    Worksheets(4).Select
    ActiveWindow.DisplayHeadings = False      '---> Ocultar encabezados.

    'Llamada al procedimiento encargado de Llenar el Informe:
    Call InformeHidraulico      '---> Acá se llenan todos los datos

```

```

'Llamada al UserForm encargado de mostrar el informe sólo de la configuración deseada.
Load UserForm3
UserForm3.Show

Else '---> Si ninguna de las Filas 205, 227 o 249 es visible.
MsgBox " ; Botón deshabilitado !" & vbCrLf & "El informe sólo puede generarse" & vbCrLf & "despu
End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton13_Click()

'[FINALIZAR]

'Declarar la variable para almacenar la respuesta del usuario:
Dim Finalizar As Integer, Cerrar As Integer

'Verificar si las hojas de los Informes son visibles y ejecutar el mensaje dependiendo de esto:
If ((Worksheets(3).Visible = xlSheetVisible) And (Worksheets(4).Visible = xlSheetVisible)) Then
'Se pregunta si se desea salir de Excel:
Finalizar = MsgBox("¿Desea salir de Excel?" & vbCrLf & " * Asegúrese de Guardar los Informes."
'Cerrar o no Excel dependiendo de la elección
If Finalizar = vbYes Then
'Se cierra Excel
ThisWorkbook.Close
End If
Else '---> En caso de que alguna de estas hojas esté oculta:
'Se pregunta si se desea salir de Excel:
Cerrar = MsgBox("; NO SE HAN GENERADO LOS INFORMES !" & vbCrLf & "¿Seguro desea salir de Excel?"
'Cerrar o no Excel dependiendo de la elección
If Cerrar = vbYes Then
'Se cierra Excel
ThisWorkbook.Close
End If
End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton14_Click()

'[COMPARAR DISPOSICIONES]

'Sólo se va a ejecutar si se han seleccionado todas las disposiciones y se ha calculado todo previam
'---> Si se las Filas 205, 227 y 249 son visibles:
If ((Me.Rows("205").EntireRow.Hidden = False) And (Me.Rows("227").EntireRow.Hidden = False) And (Me.
'----->'Realizar la Comparación de Disposiciones:
'Hacer visible la Hoja 8:
Worksheets(8).Visible = xlSheetVisible
'Llamada al procedimiento encargado de llenar los datos de los gráficos:
Call RCompararDisposiciones
'Cambiar el foco del usuario:
Worksheets(8).Range("B3").Select
ActiveWindow.DisplayHeadings = False '---> Ocultar encabezados.

Else '---> Si las Filas 205, 227 y 249 están ocultas:
'Mensaje de Advertencia:
MsgBox ";Botón deshabilitado!" & vbCrLf & "La Comparación de Disposiciones sólo es posible una v
End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton15_Click()

    '[GENERAR MODELO 3D CAD]
    'Declarar la variable necesaria:
    Dim salir As Integer

    'Preguntar si se desea salir:
    salir = MsgBox("Al generar el Modelo 3D CAD estará saliendo de este programa." & vbCrLf & "----> Esta

    'Salir o no dependiendo de la elección
    If salir = vbYes Then
'----->'Ejecutar todo el procedimiento:
        'Abrir el Libro Resultados Pre-Solidworks, enviar los modelos seleccionados y salir de este libr
        'Llamada al procedimiento encargado:
        Call R_PreSolidWorks

    End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton19_Click()

    '[<< VOLVER]

    'Declarar la variable necesaria:
    Dim volver As Integer

    'Preguntar si se desea volver:
    volver = MsgBox("¿Desea volver al Diseño Agronómico?" & vbCrLf & "Esta acción borra todos los cambio

    'Volver o no dependiendo de la elección
    If volver = vbYes Then
        'Regresar a la Hoja 1:
        Worksheets(1).Select
        Worksheets(1).Range("G83").Select
    End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton2_Click()

    'El botón va a mostrar u ocultar la Imagen2
    If Shapes("Image2").Visible = msoTrue Then
        CommandButton2.Caption = "VER"
        CommandButton2.BackColor = "&H80000016"
        Shapes("Image2").Visible = msoFalse
        '----> Si la Imagen2 es visible, entonces.
        '----> El texto del botón cambia a "VER".
        '----> Retoma el color por defecto.
        '----> La Imagen2 deja de ser visible.

    ElseIf Shapes("Image2").Visible = msoFalse Then
        CommandButton2.Caption = "OCULTAR"
        CommandButton2.BackColor = RGB(191, 191, 191)
        Shapes("Image2").Visible = msoTrue
        '----> Si la Imagen2 NO es visible, entonces.
        '----> El texto del botón cambia a "OCULTAR".
        '----> Cambia a un color gris oscuro
        '----> La Imagen2 se vuelve visible.

    End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton3_Click()

    'El botón va a mostrar u ocultar la Imagen3
    If Shapes("Image3").Visible = msoTrue Then
        CommandButton3.Caption = "VER"
        '----> Si la Imagen3 es visible, entonces.
        '----> El texto del botón cambia a "VER".

    End If

End Sub

```

```

        CommandButton3.BackColor = "&H80000016"      '---> Retoma el color por defecto.
        Shapes("Image3").Visible = msoFalse         '---> La Imagen3 deja de ser visible.

    ElseIf Shapes("Image3").Visible = msoFalse Then '---> Si la Imagen3 NO es visible, entonces.
        CommandButton3.Caption = "OCULTAR"         '---> El texto del botón cambia a "OCULTAR".
        CommandButton3.BackColor = RGB(191, 191, 191) '---> Cambia a un color gris oscuro
        Shapes("Image3").Visible = msoTrue         '---> La Imagen3 se vuelve visible.

    End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton17_Click()

    'El botón va a mostrar u ocultar la Imagen4
    If Shapes("Image4").Visible = msoTrue Then     '---> Si la Imagen4 es visible, entonces.
        CommandButton17.Caption = "VER"           '---> El texto del botón cambia a "VER".
        CommandButton17.BackColor = "&H80000016"   '---> Retoma el color por defecto.
        Shapes("Image4").Visible = msoFalse       '---> La Imagen4 deja de ser visible.

    ElseIf Shapes("Image4").Visible = msoFalse Then '---> Si la Imagen4 NO es visible, entonces.
        CommandButton17.Caption = "OCULTAR"       '---> El texto del botón cambia a "OCULTAR".
        CommandButton17.BackColor = RGB(191, 191, 191) '---> Cambia a un color gris oscuro
        Shapes("Image4").Visible = msoTrue       '---> La Imagen4 se vuelve visible.

    End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton4_Click()

    '[SUBUNIDAD - DISPOSICIÓN DE ANILLOS]

    'Control de Errores: Sólo se calcula si los ComboBox están llenos.
    If ((Me.ComboBox2.Value <> "") And (Me.ComboBox3.Value <> "")) Then '---> Sublaterales seleccionados:

        If ((Me.ComboBox4.Value <> "") And (Me.ComboBox5.Value <> "")) Then '---> Laterales seleccionados:

            If ((Me.ComboBox6.Value <> "") And (Me.ComboBox7.Value <> "")) Then '---> Terciarias seleccionadas:
'----->'Ejecutar todo el procedimiento:
                'Mostrar las Filas Ocultas:
                Me.Rows("72:104").EntireRow.Hidden = False '---> Se muestran las Filas 72 a 104.

                'Organizar los valores necesarios antes de ir a EES.
                'Llamada al procedimiento encargado:
                Call RSubUnidadAnillos

                'Calcular y llenar los resultados obtenidos en EES.
                'Llamada al procedimiento encargado:
                Call CHAnillosSubUnidad

                'Copiar y pegar los resultados de EES en las casillas correspondientes:
                'Llamada al procedimiento encargado:
                Call RFinialesSubUnidadAnillos

                'Regresar el foco del usuario a los resultados:
                Range("G73").Select

            Else '---> Terciarias no seleccionadas.
                'Mensaje de Advertencia:
                MsgBox "No se ha seleccionado la tubería terciaria." & vbCrLf & "Antes de continuar..."
            End If
        End If
    End If

```

```

Else    '---> Laterales no seleccionadas.
'Mensaje de Advertencia:
MsgBox "No se ha seleccionado la tubería lateral." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & vbCrLf
End If

Else    '---> Sublaterales no seleccionadas.
'Mensaje de Advertencia:
MsgBox "No se ha seleccionado la tubería sublateral." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & vbCrLf
End If

```

End Sub

---

```
Private Sub CommandButton5_Click()
```

```
'[SUBUNIDAD - DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL]
```

```
'Control de Errores: Sólo se calcula si los ComboBox están llenos.
```

```

If ((Me.ComboBox4.Value <> "") And (Me.ComboBox5.Value <> "")) Then    '---> Laterales seleccionadas
    If ((Me.ComboBox6.Value <> "") And (Me.ComboBox7.Value <> "")) Then    '---> Terciarias seleccionadas
'----->'Ejecutar todo el procedimiento:
'Mostrar las Filas Ocultas:
Me.Rows("105:128").EntireRow.Hidden = False    '---> Se muestran las Filas 105 a 128.

'Organizar los valores necesarios antes de ir a EES.
'Llamada al procedimiento encargado:
Call RSubUnidadDL

'Calcular y llenar los resultados obtenidos en EES.
'Llamada al procedimiento encargado:
Call CHDLSubUnidad

'Copiar y pegar los resultados de EES en las casillas correspondientes:
'Llamada al procedimiento encargado:
Call RFinialesSubUnidadDL

'Regresar el foco del usuario a los resultados:
Range("G106").Select

Else    '---> Terciarias no seleccionadas.
'Mensaje de Advertencia:
MsgBox "No se ha seleccionado la tubería terciaria." & vbCrLf & "Antes de continuar..."
End If

Else    '---> Laterales no seleccionadas.
'Mensaje de Advertencia:
MsgBox "No se ha seleccionado la tubería lateral." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & vbCrLf
End If

```

End Sub

---

```
Private Sub CommandButton6_Click()
```

```
'[SUBUNIDAD - DISPOSICIÓN DE ZIGZAG]
```

```
'Control de Errores: Sólo se calcula si los ComboBox están llenos.
```

```

If ((Me.ComboBox4.Value <> "") And (Me.ComboBox5.Value <> "")) Then    '---> Laterales seleccionadas
    If ((Me.ComboBox6.Value <> "") And (Me.ComboBox7.Value <> "")) Then    '---> Terciarias seleccionadas
'----->'Ejecutar todo el procedimiento:

```

```

'Mostrar las Filas Ocultas:
Me.Rows("129:152").EntireRow.Hidden = False    '---> Se muestran las Filas 129 a 152.

'Organizar los valores necesarios antes de ir a EES.
'Llamada al procedimiento encargado:
Call RSubUnidadZZ

'Calcular y llenar los resultados obtenidos en EES.
'Llamada al procedimiento encargado:
Call CHZZSubUnidad

'Copiar y pegar los resultados de EES en las casillas correspondientes:
'Llamada al procedimiento encargado:
Call RFinalesSubUnidadZZ

'Regresar el foco del usuario a los resultados:
Range("G130").Select

Else    '---> Terciarias no seleccionadas.
'Mensaje de Advertencia:
MsgBox "No se ha seleccionado la tubería terciaria." & vbCrLf & "Antes de continuar..."
End If

Else    '---> Laterales no seleccionadas.
'Mensaje de Advertencia:
MsgBox "No se ha seleccionado la tubería lateral." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & vbCrLf
End If
End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton7_Click()

'El botón va a mostrar u ocultar la Imagen5
If Shapes("Image5").Visible = msoTrue Then    '---> Si la Imagen5 es visible, entonces.
    CommandButton7.Caption = "VER"           '---> El texto del botón cambia a "VER".
    CommandButton7.BackColor = "&H80000016"    '---> Retoma el color por defecto.
    Shapes("Image5").Visible = msoFalse      '---> La Imagen5 deja de ser visible.

ElseIf Shapes("Image5").Visible = msoFalse Then    '---> Si la Imagen5 NO es visible, entonces.
    CommandButton7.Caption = "OCULTAR"          '---> El texto del botón cambia a "OCULTAR".
    CommandButton7.BackColor = RGB(191, 191, 191) '---> Cambia a un color gris oscuro
    Shapes("Image5").Visible = msoTrue         '---> La Imagen5 se vuelve visible.

End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton8_Click()

'El botón va a mostrar u ocultar la Imagen7
If Shapes("Image7").Visible = msoTrue Then    '---> Si la Imagen7 es visible, entonces.
    CommandButton8.Caption = "VER"           '---> El texto del botón cambia a "VER".
    CommandButton8.BackColor = "&H80000016"    '---> Retoma el color por defecto.
    Shapes("Image7").Visible = msoFalse      '---> La Imagen7 deja de ser visible.

ElseIf Shapes("Image7").Visible = msoFalse Then    '---> Si la Imagen7 NO es visible, entonces.
    CommandButton8.Caption = "OCULTAR"          '---> El texto del botón cambia a "OCULTAR".
    CommandButton8.BackColor = RGB(191, 191, 191) '---> Cambia a un color gris oscuro
    Shapes("Image7").Visible = msoTrue         '---> La Imagen7 se vuelve visible.

End If

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton18_Click()

'El botón va a mostrar u ocultar la Imagen6
If Shapes("Image6").Visible = msoTrue Then
    CommandButton18.Caption = "VER"
    CommandButton18.BackColor = "&H80000016"
    Shapes("Image6").Visible = msoFalse
'----> Si la Imagen6 es visible, entonces.
'----> El texto del botón cambia a "VER".
'----> Retoma el color por defecto.
'----> La Imagen6 deja de ser visible.

ElseIf Shapes("Image6").Visible = msoFalse Then
    CommandButton18.Caption = "OCULTAR"
    CommandButton18.BackColor = RGB(191, 191, 191)
    Shapes("Image6").Visible = msoTrue
'----> Si la Imagen6 NO es visible, entonces.
'----> El texto del botón cambia a "OCULTAR".
'----> Cambia a un color gris oscuro
'----> La Imagen6 se vuelve visible.

End If

End Sub

Private Sub CommandButton9_Click()

'[UNIDAD - DISPOSICIÓN DE ANILLOS]

'Control de Errores Inicial: Sólo se ejecuta si ya se cálculo la FASE 1. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.
If Me.Rows("104").EntireRow.Hidden = False Then '----> Si la Fila 104 es visible.

'Control de Errores: Sólo se calcula si los ComboBox están llenos.
If Me.ComboBox8.Value <> "" Then '----> Secundarias seleccionada.

    If Me.ComboBox9.Value <> "" Then '----> Primaria seleccionada.

        If Me.ComboBox10.Value <> "" Then '----> Transporte seleccionada.
'----->'Ejecutar todo el procedimiento:
'Mostrar las Filas Ocultas:
Me.Rows("184:205").EntireRow.Hidden = False '----> Se muestran las Filas 184 a 205

'Organizar los valores necesarios antes de ir a EES.
'Llamada al procedimiento encargado:
Call RUnidadAnillos

'Calcular y llenar los resultados obtenidos en EES.
'Llamada al procedimiendo encargado:
Call CHAnillosUnidad

'Copiar y pegar los resultados de EES en las casillas correspondientes:
'Llamada al procedimiento encargado:
Call RFinialesUnidadAnillos

'Regresar el foco del usuario a los resultados:
Range("G185").Select

Else '----> Transporte no seleccionada.
'Mensaje de Advertencia:
MsgBox "No se ha seleccionado la tubería de transporte." & vbCrLf & "Antes de contin
End If

Else '----> Primaria no seleccionada.
'Mensaje de Advertencia:
MsgBox "No se ha seleccionado la tubería primaria." & vbCrLf & "Antes de continuar..." &
End If

Else '----> Secundarias no seleccionadas.
'Mensaje de Advertencia:
MsgBox "No se ha seleccionado la tubería secundaria." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & v
End If

```

```

Else    '---> Fila 104 oculta.
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox ";Opción desahabilitada!" & vbCrLf & "Antes de continuar con 'FASE 2. SISTEMA DE TRANSPOR
End If

End Sub

```

Figura J-4. Código VBA en Hoja 3 “Informe Agronómico”.

```

Private Sub CommandButton1_Click()

    '[<< REGRESAR]
    'Regresar a la Hoja 1:
    Worksheets(1).Select
    'Seleccionar una celda específica para retomar el foco:
    Worksheets(1).Range("G83").Select

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton2_Click()

    '[GUARDAR]
    'Guardar InformeAgronómico como PDF en la ubicación de carpeta que seleccione el usuario.
    'Llamada al procedimiento encargado:
    Call GuardarInformeAgro

End Sub

```

Figura J-5. Código VBA en Hoja 4 “Informe Hidráulico”.

```

Private Sub CommandButton1_Click()

    '[<< REGRESAR]
    'Regresar a la Hoja 2:
    Worksheets(2).Select
    'Seleccionar una celda específica para retomar el foco:
    Worksheets(2).Range("T252").Select

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton10_Click()

    '[VER INFORME ESQUEMÁTICO - DISPOSICIÓN DE ANILLOS]

    'Mostrar y seleccionar la Hoja 5:
    Worksheets(5).Visible = xlSheetVisible
    Worksheets(5).Select
    ActiveWindow.DisplayHeadings = False    '---> Ocultar encabezados.

    'Llenar los resultados:
    'Llamada al procedimiento encargado:
    Call InformeEsquematicoAnillos

    'Mensaje de Información
    MsgBox ";El Informe Esquemático de la Disposición de Anillos" & vbCrLf & "se ha generado correctamen

```

```
'Cambiar el Enfoque del usuario:  
Worksheets(5).Range("D15").Select
```

End Sub

---

```
Private Sub CommandButton11_Click()
```

```
'[VER INFORME ESQUEMÁTICO - DISPOSICIÓN DOBLE LATERAL]
```

```
'Mostrar y seleccionar la Hoja 6:
```

```
Worksheets(6).Visible = xlSheetVisible
```

```
Worksheets(6).Select
```

```
ActiveWindow.DisplayHeadings = False '---> Ocultar encabezados.
```

```
'Llenar los resultados:
```

```
'Llamada al procedimiento encargado:
```

```
Call InformeEsquematicoDL
```

```
'Mensaje de Información
```

```
MsgBox ";El Informe Esquemático de la Disposición Doble Lateral" & vbCrLf & "se ha generado correcta
```

```
'Cambiar el Enfoque del usuario:
```

```
Worksheets(6).Range("D15").Select
```

End Sub

---

```
Private Sub CommandButton12_Click()
```

```
'[VER INFORME ESQUEMÁTICO - DISPOSICIÓN DE ZIGZAG]
```

```
'Mostrar y seleccionar la Hoja 7:
```

```
Worksheets(7).Visible = xlSheetVisible
```

```
Worksheets(7).Select
```

```
ActiveWindow.DisplayHeadings = False '---> Ocultar encabezados.
```

```
'Llenar los resultados:
```

```
'Llamada al procedimiento encargado:
```

```
Call InformeEsquematicoZZ
```

```
'Mensaje de Información
```

```
MsgBox ";El Informe Esquemático de la Disposición de ZigZag" & vbCrLf & "se ha generado correctament
```

```
'Cambiar el Enfoque del usuario:
```

```
Worksheets(7).Range("D15").Select
```

End Sub

---

```
Private Sub CommandButton2_Click()
```

```
'[CAMBIAR INFORME]
```

```
'Cargar y abrir el UserForm3
```

```
Load UserForm3
```

```
UserForm3.Show
```

```
'Cambiar el foco del usuario:
```

```
Range("A1").Select
```

End Sub

---

```
Private Sub CommandButton3_Click()
```

```

' [GUARDAR]
' Guardar Informe Hidráulico como PDF en la ubicación de carpeta que seleccione el usuario.
' Llamada al procedimiento encargado:
Call GuardarInformeHidraulico

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton4_Click()

' [<< REGRESAR]
' Regresar a la Hoja 2:
Worksheets(2).Select
' Seleccionar una celda específica para retomar el foco:
Worksheets(2).Range("T252").Select

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton5_Click()

' [CAMBIAR INFORME]
' Cargar y abrir el UserForm3:
Load UserForm3
UserForm3.Show

' Cambiar el foco del usuario:
Range("A1").Select

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton6_Click()

' [GUARDAR]
' Guardar Informe Hidráulico como PDF en la ubicación de carpeta que seleccione el usuario.
' Llamada al procedimiento encargado:
Call GuardarInformeHidraulico

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton7_Click()

' [<< REGRESAR]
' Regresar a la Hoja 2:
Worksheets(2).Select
' Seleccionar una celda específica para retomar el foco:
Worksheets(2).Range("T252").Select

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton8_Click()

' [CAMBIAR INFORME]
' Cargar y abrir el UserForm3
Load UserForm3
UserForm3.Show

' Cambiar el foco del usuario:
' Range("A1").Select

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton9_Click()

    '[GUARDAR]
    'Guardar Informe Hidráulico como PDF en la ubicación de carpeta que seleccione el usuario.
    'Llamada al procedimiento encargado:
    Call GuardarInformeHidraulico

End Sub

```

Figura J-6. Código VBA en Hoja 5 “Informe Esquemático D. Anillos”.

```

Private Sub CommandButton1_Click()

    ' [<< REGRESAR]
    'Regresar a la Hoja 4:
    Worksheets(4).Select
    'Seleccionar una celda específica para retomar el foco:
    Worksheets(4).Range("A57").Select

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton2_Click()

    '[GUARDAR]
    'Guardar Informe como PDF en la ubicación de carpeta que seleccione el usuario.
    'Llamada al procedimiento encargado:
    Call GuardarInformeEsquematicoAnillos

End Sub

```

Figura J-7. Código VBA en Hoja 6 “Informe Esquemático D. DobleLat”.

```

Private Sub CommandButton1_Click()

    ' [<< REGRESAR]
    'Regresar a la Hoja 4:
    Worksheets(4).Select
    'Seleccionar una celda específica para retomar el foco:
    Worksheets(4).Range("A57").Select

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton2_Click()

    '[GUARDAR]
    'Guardar Informe como PDF en la ubicación de carpeta que seleccione el usuario.
    'Llamada al procedimiento encargado:
    Call GuardarInformeEsquematicoDL

End Sub

```

Figura J-8. Código VBA en Hoja 7 “Informe Esquemático D. Zigzag”.

```
Private Sub CommandButton1_Click()

    '<< REGRESAR]
    'Regresar a la Hoja 4:
    Worksheets(4).Select
    'Seleccionar una celda específica para retomar el foco:
    Worksheets(4).Range("A57").Select

End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()

    '[GUARDAR]
    'Guardar Informe como PDF en la ubicación de carpeta que seleccione el usuario.
    'Llamada al procedimiento encargado:
    Call GuardarInformeEsquematicoZZ

End Sub
```

Figura J-9. Código VBA en Hoja 8 “ComparaciónDisposiciones”.

```
Private Sub CommandButton1_Click()

    '<< REGRESAR]
    'Regresar a la Hoja 4:
    Worksheets(2).Select
    'Seleccionar una celda específica para retomar el foco:
    Worksheets(2).Range("T252").Select

End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()

    '[GUARDAR]
    'Guardar la Comparación de Disposiciones como PDF en la ubicación de carpeta que seleccione
    'Llamada al procedimiento encargado:
    Call GuardarCompararDisposiciones

End Sub
```

Figura J-10. Código VBA en *ThisWorkbook*.

```
Private Sub Workbook_BeforeClose(Cancel As Boolean)

    'Declarar la variable para almacenar la respuesta del usuario:
    Dim Finalizar As Integer

    'Se pregunta si se desea salir de Excel:
    Finalizar = MsgBox("¿Realmente desea salir del programa?", vbYesNo, "Aviso")
    'Cerrar o no Excel dependiendo de la elección
    If Finalizar = vbYes Then
        'Se cierra Excel
        ThisWorkbook.Close False
    End If

End Sub
```

```

Else
    'No se cierra Excel
    Cancel = True
End If

End Sub

```

---

```

Private Sub Workbook_Open()

    '[AL ABRIR EL LIBRO]
    '---> Llenar Datos:
    'Llenar los ComboBox
    'Llamada a los procedimientos que llenan los ComboBox de la Hoja 1
    Call CB1H1: Call CB2H1: Call CB5H1
    'Llamada a los procedimientos que llenan los ComboBox de la Hoja 2
    Call CB1H2: Call CB2H2: Call CB3H2: Call CB4H2: Call CB5H2
    Call CB6H2: Call CB7H2: Call CB8H2: Call CB9H2: Call CB10H2

    '---> Ocultar Cinta de Opciones, Barra de Formulas y Encabezados:
    Application.ExecuteExcel4Macro "SHOW.TOOLBAR(""Ribbon"",false)"
    Application.DisplayFormulaBar = False
    ActiveWindow.DisplayHeadings = False

    '---> Ocultar las Hojas:
    Worksheets(9).Visible = xlSheetVisible
    Worksheets(1).Visible = xlVeryHidden
    Worksheets(2).Visible = xlVeryHidden
    Worksheets(3).Visible = xlVeryHidden
    Worksheets(4).Visible = xlVeryHidden
    Worksheets(5).Visible = xlVeryHidden
    Worksheets(6).Visible = xlVeryHidden
    Worksheets(7).Visible = xlVeryHidden
    Worksheets(8).Visible = xlVeryHidden

    '---> Abrir el Formulario:
    UserForm1.Show

End Sub

```

Figura J-11. Código VBA en UserForm1 “Ventana de Bienvenida”.

```

Private Sub UserForm_Initialize()

    'Cuando se inicia el UserForm1 se cambia el color de los botones
    CommandButton1.BackColor = RGB(238, 247, 210)
    CommandButton2.BackColor = RGB(238, 247, 210)

End Sub

```

---

```

Private Sub CommandButton2_Click()

    '[CERRAR]
    ThisWorkbook.Close

End Sub

```

---

```

Private Sub UserForm_QueryClose(Cancel As Integer, CloseMode As Integer)

    'Para evitar que se use el botón de cerrar [x]
    'Se deshabilita la opción

```

```

If CloseMode <> 1 Then          '---> Si la causa del evento (CloseMode) es diferente
    Cancel = 1                 '---> Se establece el argumento (Cancel) en un valor
    MsgBox "Botón deshabilitado", vbExclamation, "Aviso" '---> Se avisa que el botón de cerrar está
End If

```

End Sub

---

```

Private Sub CommandButton1_Click()

    '[SIGUIENTE]
    'Se descarga el Formulario anterior (UserForm1)
    Unload UserForm1
    'Se carga y se muestra el Formulario siguiente (UserForm2)
    Load UserForm2
    UserForm2.Show

```

End Sub

Figura J-12. Código VBA en UserForm2 “Ventana de Contenido”.

```

Private Sub UserForm_Initialize()

    'Cuando se inicia el UserForm2 se cambia el color de los botones
    CommandButton2.BackColor = RGB(238, 247, 210)
    CommandButton3.BackColor = RGB(238, 247, 210)

```

End Sub

---

```

Private Sub CommandButton2_Click()

    '[CERRAR]
    ThisWorkbook.Close

```

End Sub

---

```

Private Sub CommandButton3_Click()

    '[COMENZAR]
    'Se descarga el Formulario (UserForm2)
    Unload Me

```

End Sub

---

```

Private Sub UserForm_QueryClose(Cancel As Integer, CloseMode As Integer)

    'Para evitar que se use el botón de cerrar [x]
    'Se deshabilita la opción
    If CloseMode <> 1 Then          '---> Si la causa del evento (CloseMode) es diferente
        Cancel = 1                 '---> Se establece el argumento (Cancel) en un valor
        MsgBox "Botón deshabilitado", vbExclamation, "Aviso" '---> Se avisa que el botón de cerrar está
    End If

```

End Sub

---

```

Private Sub UserForm_Terminate()

    'Cuando se descargue (Unload) el UserForm2:

    'Mostrar la Hoja 1:

```

```

Worksheets(1).Visible = xlSheetVisible
Worksheets(1).Select

'Ocultar las filas de los resultados:
Worksheets(1).Rows("27:31").EntireRow.Hidden = True '---> Se ocultan las Filas 27 a 31.
Worksheets(1).Rows("46:68").EntireRow.Hidden = True '---> Se ocultan las Filas 46 a 68.
Worksheets(1).Rows("82:87").EntireRow.Hidden = True '---> Se ocultan las Filas 82 a 87.

'Selecciona un celda para cambiar el foco al usuario:
Worksheets(1).Range("F15").Select

End Sub

```

Figura J-13. Código VBA en UserForm3 "Informe de Resultados hidráulicos".

```

Private Sub ComboBox1_Change()

'Control de Errores:
'Evitar que se seleccione un informe que no se ha calculado.

If Me.ComboBox1.Value = "Disposición de Anillos" Then '---> Anillos seleccionado.
    If Worksheets(2).Rows("205").EntireRow.Hidden = False Then '---> Anillos calculado.
        'Mostrar las filas de Anillos:
        Worksheets(4).Columns("B:AI").EntireColumn.Hidden = False
        'Ocultar las otras filas:
        Worksheets(4).Columns("AJ:BQ").EntireColumn.Hidden = True '---> DL.
        Worksheets(4).Columns("BR:CX").EntireColumn.Hidden = True '---> ZZ.
    Else '---> Si no se han calculado Anillos.
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox ";Opción deshabilitada!" & vbCrLf & "No es posible generar el Informe de la Disposici
        Worksheets(4).Columns("B:AI").EntireColumn.Hidden = True '---> Anillos.
        Worksheets(4).Columns("AJ:BQ").EntireColumn.Hidden = True '---> DL.
        Worksheets(4).Columns("BR:CX").EntireColumn.Hidden = True '---> ZZ.
    End If
End If

If Me.ComboBox1.Value = "Disposición Doble Lateral" Then '---> Doble Lateral seleccionado.
    If Worksheets(2).Rows("227").EntireRow.Hidden = False Then '---> Doble Lateral calculado.
        'Mostrar las filas de Doble Lateral:
        Worksheets(4).Columns("AJ:BQ").EntireColumn.Hidden = False
        'Ocultar las otras filas:
        Worksheets(4).Columns("B:AI").EntireColumn.Hidden = True '---> Anillos.
        Worksheets(4).Columns("BR:CX").EntireColumn.Hidden = True '---> ZZ.
    Else '---> Si no se han calculado DobleLateral.
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox ";Opción deshabilitada!" & vbCrLf & "No es posible generar el Informe de la Disposici
        'Ocultar todo:
        Worksheets(4).Columns("B:AI").EntireColumn.Hidden = True '---> Anillos.
        Worksheets(4).Columns("AJ:BQ").EntireColumn.Hidden = True '---> DL.
        Worksheets(4).Columns("BR:CX").EntireColumn.Hidden = True '---> ZZ.
    End If
End If

If Me.ComboBox1.Value = "Disposición de ZigZag" Then '---> ZigZag seleccionado.
    If Worksheets(2).Rows("249").EntireRow.Hidden = False Then '---> ZigZag calculado.
        'Mostrar las filas de ZigZag:
        Worksheets(4).Columns("BR:CX").EntireColumn.Hidden = False

```

```

'Ocultar las otras filas:
Worksheets(4).Columns("B:AI").EntireColumn.Hidden = True '---> Anillos.
Worksheets(4).Columns("AJ:BQ").EntireColumn.Hidden = True '---> DL.
Else '---> Si no se han calculado DobleLateral.
'Mensaje de Advertencia:
MsgBox "¡Opción deshabilitada!" & vbCrLf & "No es posible generar el Informe de la Disposici
'Ocultar todo:
Worksheets(4).Columns("B:AI").EntireColumn.Hidden = True '---> Anillos.
Worksheets(4).Columns("AJ:BQ").EntireColumn.Hidden = True '---> DL.
Worksheets(4).Columns("BR:CX").EntireColumn.Hidden = True '---> ZZ.
End If
End If

```

End Sub

---

```
Private Sub CommandButton2_Click()
```

```

'[ACEPTAR]
'Cerrar el Formulario:
Unload Me
'Mensaje de Información:
MsgBox "¡El Informe Hidráulico se ha generado correctamente!", vbInformation, "Información"

'Selecciona un celda para cambiar el foco al usuario:
Worksheets(4).Range("A1").Select

```

End Sub

---

```
Private Sub CommandButton3_Click()
```

```

' [<< VOLVER]

'Declarar la variable necesaria:
Dim volver As Integer

'Preguntar si se desea volver:
volver = MsgBox("¿Desea volver al Diseño Hidráulico?", vbYesNo, "Aviso")

'Volver o no dependiendo de la elección
If volver = vbYes Then
'Regresar a la Hoja 2:
Worksheets(2).Select
Worksheets(2).Range("U252").Select
'Cerrar el Formulario:
Unload Me
End If

```

End Sub

---

```
Private Sub UserForm_Initialize()
```

```

'[EVENTO: AL INICIAR]
'Ocultar todas las Columnas:
Worksheets(4).Columns("B:AI").EntireColumn.Hidden = True '---> Anillos.
Worksheets(4).Columns("AJ:BQ").EntireColumn.Hidden = True '---> DL.
Worksheets(4).Columns("BR:CX").EntireColumn.Hidden = True '---> ZZ.

'Llenar el ComboBox1:
'Llamada al procedimiento encargado:
Call CB1UserForm3

```

End Sub

---

```

Private Sub UserForm_QueryClose(Cancel As Integer, CloseMode As Integer)

    '[EVENTO: ANTES DE CERRAR]
    'Para evitar que se use el botón de cerrar [x].
    'Se deshabilita la opción:
    If CloseMode <> 1 Then                                '---> Si la causa del evento (CloseMode) es diferente
        Cancel = 1                                       '---> Se establece el argumento (Cancel) en un valor
        MsgBox "Botón deshabilitado", vbExclamation, "Aviso" '---> Se avisa que el botón de cerrar está
    End If

End Sub

```

Figura J-14. Código VBA en Módulo “Control\_de\_Errores”.

```

Sub CE_MesAniovegetativo()

    'Este procedimiento realiza un control de errores sobre el mes y año vegetativo
    'Si se selecciona una combinación de Mes-Año que no necesite riego
    'Mostrar un Mensaje de Advertencia

    'Declarar las variables
    Dim CB1 As String, CB2 As String

    'Asignar a las variables el valor de los ComboBox1 y 2 de la Hoja1
    CB1 = Worksheets(1).ComboBox1.Value
    CB2 = Worksheets(1).ComboBox2.Value

    'Realizar el control de errores
    If CB2 = "Año 1" Then                                '---> Si se selecciona el Año 1

        If CB1 = "Febrero" Then                          '---> Si se selecciona Febrero, se muestra un Mensaje de Advertencia
            'Mensaje de Advertencia:
            MsgBox "En el mes de Febrero del Año 1 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, sele

        ElseIf CB1 = "Marzo" Then                        '---> Si se selecciona Marzo, se muestra un Mensaje de Advertencia
            'Mensaje de Advertencia:
            MsgBox "En el mes de Marzo del Año 1 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, selecc

        ElseIf CB1 = "Abril" Then                        '---> Si se selecciona Abril, se muestra un Mensaje de Advertencia
            'Mensaje de Advertencia:
            MsgBox "En el mes de Abril del Año 1 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, selecc

        ElseIf CB1 = "Mayo" Then                         '---> Si se selecciona Mayo, se muestra un Mensaje de Advertencia
            'Mensaje de Advertencia:
            MsgBox "En el mes de Mayo del Año 1 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, selecci

        ElseIf CB1 = "Junio" Then                       '---> Si se selecciona Junio, se muestra un Mensaje de Advertencia
            'Mensaje de Advertencia:
            MsgBox "En el mes de Junio del Año 1 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, selecc

        ElseIf CB1 = "Agosto" Then                      '---> Si se selecciona Agosto, se muestra un Mensaje de Advertencia
            'Mensaje de Advertencia:
            MsgBox "En el mes de Agosto del Año 1 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, selecc

        ElseIf CB1 = "Septiembre" Then                   '---> Si se selecciona Septiembre, se muestra un Mensaje de Advertencia
            'Mensaje de Advertencia:
            MsgBox "En el mes de Septiembre del Año 1 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, selecc

```

```

ElseIf CB1 = "Octubre" Then      '---> Si se selecciona Octubre, se muestra un Mensaje de Adverte
    'Mensaje de Advertencia:
    MsgBox "En el mes de Octubre del Año 1 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, sele

ElseIf CB1 = "Noviembre" Then    '---> Si se selecciona Noviembre, se muestra un Mensaje de Adv
    'Mensaje de Advertencia:
    MsgBox "En el mes de Noviembre del Año 1 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, se

ElseIf CB1 = "Diciembre" Then    '---> Si se selecciona Diciembre, se muestra un Mensaje de Adv
    'Mensaje de Advertencia:
    MsgBox "En el mes de Diciembre del Año 1 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, se
End If

ElseIf CB2 = "Año 2" Then        '---> Si se selecciona el Año 2

    If CB1 = "Mayo" Then          '---> Si se selecciona Mayo, se muestra un Mensaje de Advertencia
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox "En el mes de Mayo del Año 2 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, selecci

    ElseIf CB1 = "Octubre" Then   '---> Si se selecciona Octubre, se muestra un Mensaje de Adverte
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox "En el mes de Octubre del Año 2 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, sele

    ElseIf CB1 = "Noviembre" Then '---> Si se selecciona Noviembre, se muestra un Mensaje de Adv
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox "En el mes de Noviembre del Año 2 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, se
    End If

ElseIf CB2 = "Año 3" Then        '---> Si se selecciona el Año 3

    If CB1 = "Octubre" Then      '---> Si se selecciona Octubre, se muestra un Mensaje de Advertencia
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox "En el mes de Octubre del Año 3 el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por favor, sele
    End If

End If

End Sub

```

---

```

Sub CE_ProfEfectRaices()

    'Este procedimiento realiza un control de errores sobre el TextBox1.
    'Se debe asegurar que el valor de la profundidad efectiva de las raices sea correcto.

    'Declarar una variable:
    Dim TB1 As String

    'Asignar a la variable el valor del TextBox1
    TB1 = Worksheets(1).TextBox1.Value

    'Asegurar que no se deje en blanco y el valor esté dentro de los límites normales:
    If TB1 = "" Then              '---> Si el TextBox se deja vacío.
        'Mensaje de advertencia:
        MsgBox "No se ha ingresado ningún valor." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & vbCrLf & "Por

    ElseIf TB1 <= 70 Or TB1 >= 250 Then '---> Si el valor se encuentra fuera de los límites normal
        'Mensaje de Advertencia:
        MsgBox "El valor está fuera de los límites normales." & vbCrLf & "Por favor, asegúrese de ir
    End If

End Sub

```

```

Sub CE_Iaproxusuario()

'Este procedimiento realiza un control de errores sobre el TextBox2 de la Hoja1.
'Se debe asegurar que el valor del Intervalo entre riegos aproximado sea correcto.

'Declarar las variables necesarias:
Dim Iaproxusuario As String, Imax As Single

'Asignar a la variable el valor fijo:
Imax = Worksheets(1).Range("U49").Value

'Asignar a la variable el valor del TextBox2:
Iaproxusuario = Worksheets(1).TextBox2.Value

'Asegurar que no se deje en blanco y el valor esté dentro de los límites normales:
If Iaproxusuario = "" Then '---> Si el TextBox se deja vacío.
    'Mensaje de advertencia:
    MsgBox "No se ha ingresado ningún valor." & vbCrLf & "Antes de continuar..." & vbCrLf & "Por favor, ingrese un valor."
ElseIf Iaproxusuario >= Imax Or Iaproxusuario = 0 Then '---> Si el valor se encuentra fuera de los límites normales:
    'Mensaje de Advertencia:
    MsgBox "El valor es mayor al Intervalo entre riegos máximo ( I = " & Round(Imax, 2) & " )."
End If

End Sub

```

---

```

Sub CE_Disposiciones()

'Este procedimiento realiza un control de errores sobre el ComboBox1 de la Hoja2.
'Ocultar y mostrar las filas y botones correspondientes a la disposición seleccionada.

'Declarar las variables necesarias:
Dim CB1 As String

'Establecer el valor de las variables:
'---> ComboBox1:
CB1 = Worksheets(2).ComboBox1.Value

'Se deben ocultar y mostrar las filas y botones correspondientes a la disposición seleccionada.

If CB1 = "Disposición de Anillos" Then '---> Si se selecciona la Disposición de Anillos.
    'Mostrar los botones:
    Worksheets(2).CommandButton4.Visible = True
    Worksheets(2).CommandButton9.Visible = True
    'Ocultar los botones de las otras disposiciones:
    Worksheets(2).CommandButton5.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición Doble Lateral.
    Worksheets(2).CommandButton10.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición Doble Lateral.
    Worksheets(2).CommandButton6.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición de ZigZag.
    Worksheets(2).CommandButton11.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición de ZigZag.
    'Ocultar botón de Comparar Disposiciones:
    Worksheets(2).CommandButton14.Visible = False
    'Mostrar filas:
    Worksheets(2).Rows("47:54").EntireRow.Hidden = False '---> Se muestran las Filas 47 a 54.
End If
If CB1 = "Disposición Doble Lateral" Then '---> Si se selecciona la Disposición Doble Lateral.
    'Mostrar los botones:
    Worksheets(2).CommandButton5.Visible = True
    Worksheets(2).CommandButton10.Visible = True
    'Ocultar los botones de las otras disposiciones:
    Worksheets(2).CommandButton4.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición de Anillos.
    Worksheets(2).CommandButton9.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición de Anillos.

```

```

Worksheets(2).CommandButton6.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición de ZigZag.
Worksheets(2).CommandButton11.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición de ZigZag.
'Ocultar botón de Comparar Disposiciones:
Worksheets(2).CommandButton14.Visible = False
'Ocultar filas:
Worksheets(2).Rows("47:54").EntireRow.Hidden = True '---> Se ocultan las Filas 47 a 54.
End If
If CB1 = "Disposición de ZigZag" Then '---> Si se selecciona la Disposición de ZigZag.
'Mostrar los botones:
Worksheets(2).CommandButton6.Visible = True
Worksheets(2).CommandButton11.Visible = True
'Ocultar los botones de las otras disposiciones:
Worksheets(2).CommandButton4.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición de Anillos.
Worksheets(2).CommandButton9.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición de Anillos.
Worksheets(2).CommandButton5.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición Doble Lateral.
Worksheets(2).CommandButton10.Visible = False '---> Ocultar botón Disposición Doble Lateral.
'Ocultar botón de Comparar Disposiciones:
Worksheets(2).CommandButton14.Visible = False
'Ocultar filas:
Worksheets(2).Rows("47:54").EntireRow.Hidden = True '---> Se ocultan las Filas 47 a 54.
End If
If CB1 = "Todas las disposiciones" Then '---> Si se selecciona Todas las disposiciones.
'Mostrar todos los botones:
Worksheets(2).CommandButton4.Visible = True
Worksheets(2).CommandButton5.Visible = True
Worksheets(2).CommandButton6.Visible = True
Worksheets(2).CommandButton9.Visible = True
Worksheets(2).CommandButton10.Visible = True
Worksheets(2).CommandButton11.Visible = True
'Mostrar botón de Comparar Disposiciones:
Worksheets(2).CommandButton14.Visible = True
'Mostrar filas:
Worksheets(2).Rows("47:54").EntireRow.Hidden = False '---> Se muestran las Filas 47 a 54.
End If
End Sub

```

Figura J-15. Código VBA en Módulo "Llenar\_ComboBox".

```

Sub CB1H1 ()
'Este procedimiendo llena el ComboBox1 de la Hoja1
'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida
Worksheets(1).ComboBox1.Clear
'Se selecciona el ComboBox1 para ser llenado
With Worksheets(1).ComboBox1
.AddItem "Enero"
.AddItem "Febrero"
.AddItem "Marzo"
.AddItem "Abril"
.AddItem "Mayo"
.AddItem "Junio"
.AddItem "Julio"
.AddItem "Agosto"
.AddItem "Septiembre"
.AddItem "Octubre"
.AddItem "Noviembre"
.AddItem "Diciembre"

```

```
End With
```

```
End Sub
```

---

```
Sub CB2H1()
```

```
'Este procedimiendo llena el ComboBox2 de la Hoja1
```

```
'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida  
Worksheets(1).ComboBox2.Clear
```

```
'Se selecciona el ComboBox2 para ser llenado
```

```
With Worksheets(1).ComboBox2
```

```
.AddItem "Año 1"
```

```
.AddItem "Año 2"
```

```
.AddItem "Año 3"
```

```
End With
```

```
End Sub
```

---

```
Sub CB5H1()
```

```
'Este procedimiendo llena el ComboBox5 de la Hoja1
```

```
'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida  
Worksheets(1).ComboBox5.Clear
```

```
'Se selecciona el ComboBox5 para ser llenado
```

```
With Worksheets(1).ComboBox5
```

```
.AddItem "Autocompensante"
```

```
.AddItem "No Autocompensante"
```

```
End With
```

```
End Sub
```

---

```
Sub CB6H1()
```

```
'Este procedimiendo llena el ComboBox6 de la Hoja1
```

```
'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida  
Worksheets(1).ComboBox6.Clear
```

```
'Se debe tener en cuenta los valores de caudal que permite cada tipo de gotero
```

```
'Se selecciona el ComboBox6 para ser llenado
```

```
With Worksheets(1).ComboBox6
```

```
    If Worksheets(1).ComboBox5.Value = "Autocompensante" Then '---> Si el valor es Autocompensante
```

```
        .AddItem "1,2 [L/h]"
```

```
        .AddItem "2,0 [L/h]"
```

```
        .AddItem "3,0 [L/h]"
```

```
        .AddItem "4,0 [L/h]"
```

```
        .AddItem "8,0 [L/h]"
```

```
    ElseIf Worksheets(1).ComboBox5.Value = "No Autocompensante" Then '---> Si el valor es No Autocon
```

```
        .AddItem "2,0 [L/h]"
```

```
        .AddItem "3,0 [L/h]"
```

```
        .AddItem "4,0 [L/h]"
```

```
        .AddItem "8,0 [L/h]"
```

```
    End If
```

```
End With
```

```
End Sub
```

---

---

```
Sub CB1H2 ()

    'Este procedimiendo llena el ComboBox1 de la Hoja2

    'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida
    Worksheets(2).ComboBox1.Clear

    'Se selecciona el ComboBox2 para ser llenado
    With Worksheets(2).ComboBox1
        .AddItem "Todas las disposiciones"
        .AddItem "Disposición de Anillos"
        .AddItem "Disposición Doble Lateral"
        .AddItem "Disposición de ZigZag"
    End With

End Sub
```

---

```
Sub CB2H2 ()

    'Este procedimiendo llena el ComboBox2 de la Hoja2

    'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida
    Worksheets(2).ComboBox2.Clear

    'Se selecciona el ComboBox2 para ser llenado
    With Worksheets(2).ComboBox2
        .AddItem "Modelo 16/4 - 16mm - 5/8'"
        .AddItem "Modelo 20/4 - 20mm - 3/4'"
    End With

End Sub
```

---

```
Sub CB3H2 ()

    'Este procedimiendo llena el ComboBox3 de la Hoja2
    'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida
    Worksheets(2).ComboBox3.Clear

    'Se selecciona el ComboBox para ser llenado
    With Worksheets(2).ComboBox3
        .AddItem "Modelo 16/4 - 16mm - 5/8'"
        .AddItem "Modelo 20/4 - 20mm - 3/4'"
    End With

End Sub
```

---

```
Sub CB4H2 ()

    'Este procedimiendo llena el ComboBox4 de la Hoja2

    'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida
    Worksheets(2).ComboBox4.Clear

    'Se selecciona el ComboBox para ser llenado
    With Worksheets(2).ComboBox4
        .AddItem "Modelo 16/4 - 16mm - 5/8'"
        .AddItem "Modelo 20/4 - 20mm - 3/4'"
    End With

End Sub
```

---

```

Sub CB5H2 ()

    'Este procedimiendo llena el ComboBox5 de la Hoja2

    'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida
Worksheets(2).ComboBox5.Clear

    'Se selecciona el ComboBox para ser llenado
With Worksheets(2).ComboBox5
    .AddItem "Modelo 16/4 - 16mm - 5/8'"
    .AddItem "Modelo 20/4 - 20mm - 3/4'"
End With

End Sub

```

---

```

Sub CB6H2 ()

    'Este procedimiendo llena el ComboBox6 de la Hoja2

    'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida
Worksheets(2).ComboBox6.Clear

    'Se selecciona el ComboBox para ser llenado
With Worksheets(2).ComboBox6
    .AddItem "Modelo 25/4 - 25mm - 1'"
    .AddItem "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'"
    .AddItem "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'"
    .AddItem "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'"
    .AddItem "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'"
    .AddItem "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'"
    .AddItem "Modelo 50/4 - 50mm - 2'"
    .AddItem "Modelo 50/5 - 50mm - 2'"
    .AddItem "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'"
    .AddItem "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'"
End With

End Sub

```

---

```

Sub CB7H2 ()

    'Este procedimiendo llena el ComboBox7 de la Hoja2

    'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida
Worksheets(2).ComboBox7.Clear

    'Se selecciona el ComboBox para ser llenado
With Worksheets(2).ComboBox7
    .AddItem "Modelo 25/4 - 25mm - 1'"
    .AddItem "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'"
    .AddItem "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'"
    .AddItem "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'"
    .AddItem "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'"
    .AddItem "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'"
    .AddItem "Modelo 50/4 - 50mm - 2'"
    .AddItem "Modelo 50/5 - 50mm - 2'"
    .AddItem "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'"
    .AddItem "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'"
End With

End Sub

```

---

```

Sub CB8H2 ()

```

```

'Este procedimiendo llena el ComboBox8 de la Hoja2

'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida
Worksheets(2).ComboBox8.Clear

'Se selecciona el ComboBox para ser llenado
With Worksheets(2).ComboBox8
.AddItem "Modelo 25/4 - 25mm - 1'"
.AddItem "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'"
.AddItem "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'"
.AddItem "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'"
.AddItem "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'"
.AddItem "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'"
.AddItem "Modelo 50/4 - 50mm - 2'"
.AddItem "Modelo 50/5 - 50mm - 2'"
.AddItem "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'"
.AddItem "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'"
End With

```

End Sub

---

Sub CB9H2 ()

```

'Este procedimiendo llena el ComboBox9 de la Hoja2

'Primero, se va a borrar toda la posible información ya contenida
Worksheets(2).ComboBox9.Clear

'Se selecciona el ComboBox para ser llenado
With Worksheets(2).ComboBox9
.AddItem "Modelo 25/4 - 25mm - 1'"
.AddItem "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'"
.AddItem "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'"
.AddItem "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'"
.AddItem "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'"
.AddItem "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'"
.AddItem "Modelo 50/4 - 50mm - 2'"
.AddItem "Modelo 50/5 - 50mm - 2'"
.AddItem "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'"
.AddItem "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'"
End With

```

End Sub

---

Sub CB10H2 ()

```

'Este procedimiendo llena el ComboBox10 de la Hoja2

'Borrar toda la posible información ya contenida:
Worksheets(2).ComboBox10.Clear

'Se selecciona el ComboBox para ser llenado:
With Worksheets(2).ComboBox10
.AddItem "Modelo 25/4 - 25mm - 1'"
.AddItem "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'"
.AddItem "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'"
.AddItem "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'"
.AddItem "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'"
.AddItem "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'"
.AddItem "Modelo 50/4 - 50mm - 2'"
.AddItem "Modelo 50/5 - 50mm - 2'"
.AddItem "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'"
.AddItem "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'"

```

```

End With
End Sub

Sub CB1UserForm3 ()

'Este procedimiento llena el ComboBox1 del UserForm3

'Borrar toda la posible Información ya contenida:
UserForm3.ComboBox1.Clear

'Se selecciona el ComboBox1 para ser llenado:
With UserForm3.ComboBox1
.AddItem "Disposición de Anillos"
.AddItem "Disposición Doble Lateral"
.AddItem "Disposición de ZigZag"
End With

End Sub

```

Figura J-16. Código VBA en Módulo "Llenar\_Informes".

```

Sub InformeAgro ()

'Este procedimiento pretende llenar todos los campos de resultados en el Informe Diseño Agronómico.

'[1]CONDICIONES CLIMÁTICAS SELECCIONADAS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO:
'---> Para el Mes:
Range("AA21").Value = Worksheets(1).ComboBox1.Value
'---> Para el Año:
'Se evalúa qué año está seleccionado y se escribe el texto deseado.
If Worksheets(1).ComboBox2.Value = "Año 1" Then '---> Si es el Año1.
    Range("AA22").Value = "1: Inicial"
ElseIf Worksheets(1).ComboBox2.Value = "Año 2" Then '---> Si es el Año2.
    Range("AA22").Value = "2: Medio"
ElseIf Worksheets(1).ComboBox2.Value = "Año 3" Then '---> Si es el Año3.
    Range("AA22").Value = "3: Maduración (Etapa de recolección)"
End If
'---> Para la Condición crítica:
If (Worksheets(1).ComboBox1.Value = "Enero" And Worksheets(1).ComboBox2.Value = "Año 3") Then '--->
    Range("AB25").Value = "Sí"
Else '---> En caso de NO ser la Condición crítica.
    Range("AB25").Value = "No"
End If

'[2] RESULTADOS DEL DISEÑO AGRONÓMICO:

'[VARIABLES]
'---> Para Nn:
Range("K29").Value = Worksheets(1).Range("U29").Value
'---> Para Nb:
Range("K31").Value = Worksheets(1).Range("U30").Value
'---> Para Dn:
Range("K32").Value = Worksheets(1).Range("U48").Value
'---> Para Db:
Range("K34").Value = Worksheets(1).Range("U66").Value
'---> Para Iaprox:

```

```

Range("K35").Value = Worksheets(1).Range("U67").Value
'---> Para ne:
Range("K36").Value = Worksheets(1).Range("U84").Value
'---> Para ta:
Range("K38").Value = Worksheets(1).Range("U85").Value
'---> Para Dist_goteros:
Range("K39").Value = Worksheets(1).Range("U86").Value

'[PARÁMETROS]
'---> Para ETC:
Range("Z29").Value = Worksheets(1).Range("AM29").Value
'---> Para la Pe:
Range("Z30").Value = Worksheets(1).Range("AN29").Value
'---> Para la Ea:
Range("Z31").Value = 90
'---> Para la AU:
Range("Z32").Value = Worksheets(1).Range("AN48").Value
'---> Para el DPM:
Range("Z33").Value = 30
'---> Para la Dn.ajust:
Range("Z34").Value = Worksheets(1).Range("U65").Value
'---> Para la I:
Range("Z35").Value = Worksheets(1).Range("U49").Value
'---> Para la Superf_mxp:
Range("Z36").Value = Worksheets(1).Range("AP84").Value '---> Sale del EES.
'---> Para la Superf_mxg:
Range("Z37").Value = Worksheets(1).Range("AQ84").Value '---> Sale del EES.
'---> Para el Dm_bulbo:
Range("Z38").Value = Worksheets(1).Range("AM84").Value

'[EN RESUMEN]
'---> Para Dosis de riego:
Range("Q42").Value = Range("K34").Value '---> En [mm].
Range("W42").Value = (Range("Q42").Value) * (Range("Z36").Value) '---> En [L].
Range("Z42").Value = (Range("W42").Value) * 0.264172 '---> En [galones].
'---> Para Tiempo de aplicación:
Range("Q43").Value = (Range("K38").Value) / 24 '---> En [horas:minutos:segundos]
'---> Para el Intervalo entre Riegos:
Range("T44").Value = Range("K35").Value

```

End Sub

---

Sub InformeHidraulico()

```

'Este procedimiento pretende llenar todos los campos de resultados en el Informe Diseño Hidráulico.
Worksheets(4).Select

```

```

'[1]CONDICIONES CLIMÁTICAS SELECCIONADAS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO:

```

```

'---> Para el Mes:
Range("AA21").Value = Worksheets(1).ComboBox1.Value
Range("BI21").Value = Worksheets(1).ComboBox1.Value
Range("CQ21").Value = Worksheets(1).ComboBox1.Value
'---> Para el Año:
'Se evalúa qué año está seleccionado y se escribe el texto deseado.
If Worksheets(1).ComboBox2.Value = "Año 1" Then '---> Si es el Año1.
    Range("AA22").Value = "1: Inicial"
    Range("BI22").Value = "1: Inicial"
    Range("CQ22").Value = "1: Inicial"
ElseIf Worksheets(1).ComboBox2.Value = "Año 2" Then '---> Si es el Año2.
    Range("AA22").Value = "2: Medio"
    Range("BI22").Value = "2: Medio"
    Range("CQ22").Value = "2: Medio"

```

```

ElseIf Worksheets(1).ComboBox2.Value = "Año 3" Then '---> Si es el Año3.
    Range("AA22").Value = "3: Maduración (Etapa de recolección)"
    Range("BI22").Value = "3: Maduración (Etapa de recolección)"
    Range("CQ22").Value = "3: Maduración (Etapa de recolección)"
End If
'---> Para la Condición crítica:
If (Worksheets(1).ComboBox1.Value = "Enero" And Worksheets(1).ComboBox2.Value = "Año 3") Then '--->
    Range("AB25").Value = "Si"
    Range("BJ25").Value = "Sí"
    Range("CR25").Value = "Si"
Else '---> En caso de NO ser la Condición crítica.
    Range("AB25").Value = "No"
    Range("BJ25").Value = "No"
    Range("CR25").Value = "No"
End If

'[2] RESULTADOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO:

'[FASE 1] SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN:

'2. GOTEROS:
'---> Referencia técnica.
If Worksheets(2).Range("T26").Value = "(PCJ) Autocompensante" Then '---> Si es Autocompensante.
    Range("R31").Value = "PCJ - Netafim™"
    Range("AZ31").Value = "PCJ - Netafim™"
    Range("CH31").Value = "PCJ - Netafim™"
ElseIf Worksheets(2).Range("T26").Value = "(Botón) No Autocompensante" Then '---> Si es NO Autoco
    Range("R31").Value = "Botón - Netafim™"
    Range("AZ31").Value = "Botón - Netafim™"
    Range("CH31").Value = "Botón - Netafim™"
End If
'---> Cantidad total.
Range("R32").Value = (Worksheets(2).Range("V28").Value) * 47
Range("AZ32").Value = (Worksheets(2).Range("V28").Value) * 47
Range("CH32").Value = (Worksheets(2).Range("V28").Value) * 47
'---> Caudal del Gotero.
Range("AB31").Value = Worksheets(2).Range("V32").Value
Range("BJ31").Value = Worksheets(2).Range("V32").Value
Range("CR31").Value = Worksheets(2).Range("V32").Value

'3. TUBERÍAS SUB-LATERALES:
'---> Referencia técnica.
If Worksheets(2).ComboBox2.Value = "Modelo 16/4 - 16mm - 5/8'" Then '---> Si es Modelo 16/4.
    Range("R33").Value = "Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox2.Value = "Modelo 20/4 - 20mm - 3/4'" Then '---> Si es Modelo 20/4.
    Range("R33").Value = "Modelo 20/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
End If
'---> Diámetro nominal.
Range("AB33").Value = Worksheets(2).Range("J51").Value
'---> Espesor de pared.
Range("AB34").Value = Worksheets(2).Range("J52").Value
'---> Longitud total.
Range("AB35").Value = Worksheets(2).Range("BY69").Value

'3. TUBERÍAS LATERALES:
'---> Referencia técnica.
If Worksheets(2).ComboBox4.Value = "Modelo 16/4 - 16mm - 5/8'" Then '---> Si es Modelo 16/4.
    Range("R36").Value = "Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ33").Value = "Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH33").Value = "Modelo 16/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"

```

```

ElseIf Worksheets(2).ComboBox4.Value = "Modelo 20/4 - 20mm - 3/4'" Then '----> Si es Modelo 20/4.
    Range("R36").Value = "Modelo 20/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ33").Value = "Modelo 20/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH33").Value = "Modelo 20/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
End If
'----> Diámetro nominal.
Range("AB36").Value = Worksheets(2).Range("J59").Value
Range("BJ33").Value = Worksheets(2).Range("J59").Value
Range("CR33").Value = Worksheets(2).Range("J59").Value
'----> Espesor de pared.
Range("AB37").Value = Worksheets(2).Range("J60").Value
Range("BJ34").Value = Worksheets(2).Range("J60").Value
Range("CR34").Value = Worksheets(2).Range("J60").Value
'----> Longitud total.
Range("AB38").Value = Worksheets(2).Range("BZ69").Value
Range("BJ35").Value = Worksheets(2).Range("BP64").Value
Range("CR35").Value = Worksheets(2).Range("BP60").Value

'4. TUBERÍAS TERCIARIAS:
'----> Referencia técnica.
If Worksheets(2).ComboBox6.Value = "Modelo 25/4 - 25mm - 1'" Then '----> Si es Modelo 25/4.
    Range("R39").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ36").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH36").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox6.Value = "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'" Then '----> Si es Modelo 32/4.
    Range("R39").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ36").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH36").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox6.Value = "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'" Then '----> Si es Modelo
    Range("R39").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ36").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH36").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox6.Value = "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es Modelo 40/4.
    Range("R39").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ36").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH36").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox6.Value = "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es Modelo
    Range("R39").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ36").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH36").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox6.Value = "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'" Then '----> Si es Modelo 40/5.
    Range("R39").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ36").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH36").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox6.Value = "Modelo 50/4 - 50mm - 2'" Then '----> Si es Modelo 50/4.
    Range("R39").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ36").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH36").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox6.Value = "Modelo 50/5 - 50mm - 2'" Then '----> Si es Modelo 50/5.
    Range("R39").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ36").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH36").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox6.Value = "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'" Then '----> Si es Modelo 63/4.
    Range("R39").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ36").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH36").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox6.Value = "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'" Then '----> Si es Modelo 63/6.
    Range("R39").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ36").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH36").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
End If

```

```

'---> Diámetro nominal.
Range("AB39").Value = Worksheets(2).Range("J67").Value
Range("BJ36").Value = Worksheets(2).Range("J67").Value
Range("CR36").Value = Worksheets(2).Range("J67").Value
'---> Espesor de pared.
Range("AB40").Value = Worksheets(2).Range("J68").Value
Range("BJ37").Value = Worksheets(2).Range("J68").Value
Range("CR37").Value = Worksheets(2).Range("J68").Value
'---> Longitud total.
Range("AB41").Value = Worksheets(2).Range("CA69").Value
Range("BJ38").Value = Worksheets(2).Range("BQ64").Value
Range("CR38").Value = Worksheets(2).Range("BQ60").Value

'5. TUBERÍAS SECUNDARIAS:
'---> Referencia técnica.
If Worksheets(2).ComboBox8.Value = "Modelo 25/4 - 25mm - 1'" Then '---> Si es Modelo 25/4.
    Range("R42").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ39").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH39").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox8.Value = "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'" Then '---> Si es Modelo 32/4
    Range("R42").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ39").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH39").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox8.Value = "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'" Then '---> Si es Modelo
    Range("R42").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ39").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH39").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox8.Value = "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es Modelo 40/4
    Range("R42").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ39").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH39").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox8.Value = "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es Modelo
    Range("R42").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ39").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH39").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox8.Value = "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es Modelo 40/5.
    Range("R42").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ39").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH39").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox8.Value = "Modelo 50/4 - 50mm - 2'" Then '---> Si es Modelo 50/4.
    Range("R42").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ39").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH39").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox8.Value = "Modelo 50/5 - 50mm - 2'" Then '---> Si es Modelo 50/5.
    Range("R42").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ39").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH39").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox8.Value = "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'" Then '---> Si es Modelo 63/4.
    Range("R42").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ39").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH39").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox8.Value = "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'" Then '---> Si es Modelo 63/6.
    Range("R42").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ39").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH39").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
End If
'---> Diámetro nominal.
Range("AB42").Value = Worksheets(2).Range("J164").Value
Range("BJ39").Value = Worksheets(2).Range("J164").Value
Range("CR39").Value = Worksheets(2).Range("J164").Value
'---> Espesor de pared.
Range("AB43").Value = Worksheets(2).Range("J165").Value

```

```

Range("BJ40").Value = Worksheets(2).Range("J165").Value
Range("CR40").Value = Worksheets(2).Range("J165").Value
'---> Longitud total.
Range("AB44").Value = Worksheets(2).Range("BI166").Value
Range("BJ41").Value = Worksheets(2).Range("BG162").Value
Range("CR41").Value = Worksheets(2).Range("BG158").Value

'5. TUBERÍA PRIMARIA:
'---> Referencia técnica.
If Worksheets(2).ComboBox9.Value = "Modelo 25/4 - 25mm - 1'" Then '---> Si es Modelo 25/4.
    Range("R45").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ42").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH42").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox9.Value = "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'" Then '---> Si es Modelo 32/4.
    Range("R45").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ42").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH42").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox9.Value = "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'" Then '---> Si es Modelo
    Range("R45").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ42").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH42").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox9.Value = "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es Modelo 40/4.
    Range("R45").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ42").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH42").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox9.Value = "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es Modelo
    Range("R45").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ42").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH42").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox9.Value = "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es Modelo 40/5.
    Range("R45").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ42").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH42").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox9.Value = "Modelo 50/4 - 50mm - 2'" Then '---> Si es Modelo 50/4.
    Range("R45").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ42").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH42").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox9.Value = "Modelo 50/5 - 50mm - 2'" Then '---> Si es Modelo 50/5.
    Range("R45").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ42").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH42").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox9.Value = "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'" Then '---> Si es Modelo 63/4.
    Range("R45").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ42").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH42").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox9.Value = "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'" Then '---> Si es Modelo 63/6.
    Range("R45").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ42").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH42").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
End If
'---> Diámetro nominal.
Range("AB45").Value = Worksheets(2).Range("W164").Value
Range("BJ42").Value = Worksheets(2).Range("W164").Value
Range("CR42").Value = Worksheets(2).Range("W164").Value
'---> Espesor de pared.
Range("AB46").Value = Worksheets(2).Range("W165").Value
Range("BJ43").Value = Worksheets(2).Range("W165").Value
Range("CR43").Value = Worksheets(2).Range("W165").Value
'---> Longitud total.
Range("AB47").Value = Worksheets(2).Range("BJ166").Value
Range("BJ44").Value = Worksheets(2).Range("BH162").Value
Range("CR44").Value = Worksheets(2).Range("BH158").Value

```

```

'[FASE 2] SISTEMA DE TRANSPORTE:
'6. TUBERÍA DE TRANSPORTE:
'---> Referencia técnica.
If Worksheets(2).ComboBox10.Value = "Modelo 25/4 - 25mm - 1'" Then '---> Si es Modelo 25/4.
    Range("R51").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ48").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH48").Value = "Modelo 25/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox10.Value = "Modelo 32/4 - 32mm - 1-1/4'" Then '---> Si es Modelo 32/4
    Range("R51").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ48").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH48").Value = "Modelo 32/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox10.Value = "Modelo 32/4 SOFT - 32mm - 1-1/4'" Then '---> Si es Modelo 32/4 SOFT
    Range("R51").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ48").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH48").Value = "Modelo 32/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox10.Value = "Modelo 40/4 - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es Modelo 40/4
    Range("R51").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ48").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH48").Value = "Modelo 40/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox10.Value = "Modelo 40/4 SOFT - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es Modelo 40/4 SOFT
    Range("R51").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ48").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH48").Value = "Modelo 40/4 SOFT Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox10.Value = "Modelo 40/5 - 40mm - 1-1/2'" Then '---> Si es Modelo 40/5
    Range("R51").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ48").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH48").Value = "Modelo 40/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox10.Value = "Modelo 50/4 - 50mm - 2'" Then '---> Si es Modelo 50/4.
    Range("R51").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ48").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH48").Value = "Modelo 50/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox10.Value = "Modelo 50/5 - 50mm - 2'" Then '---> Si es Modelo 50/5.
    Range("R51").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ48").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH48").Value = "Modelo 50/5 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox10.Value = "Modelo 63/4 - 63mm - 2-1/2'" Then '---> Si es Modelo 63/4
    Range("R51").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ48").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH48").Value = "Modelo 63/4 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
ElseIf Worksheets(2).ComboBox10.Value = "Modelo 63/6 - 63mm - 2-1/2'" Then '---> Si es Modelo 63/6
    Range("R51").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("AZ48").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
    Range("CH48").Value = "Modelo 63/6 - Tuberías Netafim™ PE estándar"
End If
'---> Diámetro nominal.
Range("AB51").Value = Worksheets(2).Range("V179").Value
Range("BJ48").Value = Worksheets(2).Range("V179").Value
Range("CR48").Value = Worksheets(2).Range("V179").Value
'---> Espesor de pared.
Range("AB52").Value = Worksheets(2).Range("V180").Value
Range("BJ49").Value = Worksheets(2).Range("V180").Value
Range("CR49").Value = Worksheets(2).Range("V180").Value
'---> Longitud total.
Range("AB53").Value = Worksheets(2).Range("BK166").Value
Range("BJ50").Value = Worksheets(2).Range("BI162").Value
Range("CR50").Value = Worksheets(2).Range("BI158").Value

```

End Sub

Sub GuardarInformeAgro()

'Este procedimiento va a guardar el Informe Agronómico.

```

'Declarar las variables necesarias:
Dim RutaCarpeta As String, NombreHoja As String

'Mensaje de Información:
MsgBox "Por favor, seleccione la carpeta donde desea" & vbCrLf & " guardar el Informe Agronómico", vbInformation, "Informe Agronómico"

'Abrir Cuadro de Dialogo para seleccionar la carpeta donde se va a guardar el Informe Agronómico.
With Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)
    .Title = "Seleccionar Carpeta para Informe Agronómico"
    .Show

    'Control de Errores: Sólo se guarda el archivo si el usuario ha seleccionado una carpeta con archivos.
    If .SelectedItems.Count = 0 Then '---> Si no se ha seleccionado ninguna carpeta.
        MsgBox "No se ha guardado el Informe Agronómico." & vbCrLf & "Si desea Guardar, asegúrese de seleccionar una carpeta.", vbInformation, "Informe Agronómico"
    Else '---> Si se ha elegido una carpeta.
        RutaCarpeta = .SelectedItems(1)
        'Establecer el nombre de la hoja en la variable:
        NombreHoja = Worksheets(3).Name
        'Mensaje de Información:
        MsgBox "Guardando en .PDF " & NombreHoja, vbInformation, "Informe Agronómico"
        'Exportar el Informe Agronómico como PDF:
        Worksheets(3).ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
        Filename:=RutaCarpeta & "\" & NombreHoja & ".pdf", OpenAfterPublish:=False
        '---> Instrucción traducida: Exportar el archivo como un formato de tipo PDF en la ruta c:\
        'Mensaje de Información:
        MsgBox ";" & NombreHoja & " se ha guardado satisfactoriamente!", vbInformation, "Informe Agronómico"
    End If

End With

End Sub

Sub GuardarInformeHidraulico()
    'Este procedimiento va a guardar el Informe Hidráulico.

    'Declarar las variables necesarias:
    Dim RutaCarpeta As String, NombreHoja As String

    'Mensaje de Información:
    MsgBox "Por favor, seleccione la carpeta donde desea" & vbCrLf & " guardar el Informe Hidráulico", vbInformation, "Informe Hidráulico"

    'Abrir Cuadro de Dialogo para seleccionar la carpeta donde se va a guardar el Informe Hidráulico.
    With Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)
        .Title = "Seleccionar Carpeta para Informe Hidráulico"
        .Show

        'Control de Errores: Sólo se guarda el archivo si el usuario ha seleccionado una carpeta con archivos.
        If .SelectedItems.Count = 0 Then '---> Si no se ha seleccionado ninguna carpeta.
            MsgBox "No se ha guardado el Informe Hidráulico." & vbCrLf & "Si desea Guardar, asegúrese de seleccionar una carpeta.", vbInformation, "Informe Hidráulico"
        Else '---> Si se ha elegido una carpeta.
            RutaCarpeta = .SelectedItems(1)
            'Establecer el nombre de la hoja en la variable:
            NombreHoja = Worksheets(4).Name
            'Mensaje de Información:
            MsgBox "Guardando en .PDF " & NombreHoja, vbInformation, "Informe Hidráulico"
            'Exportar el Informe Hidráulico como PDF:
            Worksheets(4).ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
            Filename:=RutaCarpeta & "\" & NombreHoja & ".pdf", OpenAfterPublish:=False
            '---> Instrucción traducida: Exportar el archivo como un formato de tipo PDF en la ruta c:\
        End If

    End With

End Sub

```

```

'Mensaje de Información:
MsgBox ";" & NombreHoja & " se ha guardado satisfactoriamente!", vbInformation, "Inform
End If

End With

End Sub

Sub InformeEsquematicoAnillos()

'Este procedimiento llena los resultados en el Informe Esquemático de la Disposición de Anillos
Worksheets(5).Select

'[1] SL1 a SL24- SU1
Range("J19").Value = Worksheets(2).Range("AM69").Value + ((Worksheets(2).Range("AN69").Value) * 2)
Range("J20").Value = Worksheets(2).Range("BI69").Value '----> Longitud.
Range("J21").Value = Worksheets(2).Range("BQ69").Value '----> Caudal.
Range("J22").Value = 10 '----> Presión inicial.

'[2] SL1 a SL23 - SU2
Range("T19").Value = Worksheets(2).Range("AO69").Value + ((Worksheets(2).Range("AP69").Value) * 2)
Range("T20").Value = Worksheets(2).Range("BI69").Value '----> Longitud.
Range("T21").Value = Worksheets(2).Range("BQ69").Value '----> Caudal.
Range("T22").Value = 10 '----> Presión inicial.

'[3] L1 a L4 - SU1
Range("J25").Value = Worksheets(2).Range("AQ69").Value + ((Worksheets(2).Range("AR69").Value) * 2)
Range("J26").Value = Worksheets(2).Range("BJ69").Value '----> Longitud.
Range("J27").Value = Worksheets(2).Range("BR69").Value '----> Caudal.
Range("J28").Value = Worksheets(2).Range("BB69").Value '----> Presión inicial.

'[4] L5 y L6 - SU1
Range("T25").Value = Worksheets(2).Range("AQ69").Value + ((Worksheets(2).Range("AR69").Value) * 2)
Range("T26").Value = Worksheets(2).Range("BK69").Value '----> Longitud.
Range("T27").Value = Worksheets(2).Range("BS69").Value '----> Caudal.
Range("T28").Value = Worksheets(2).Range("BC69").Value '----> Presión inicial.

'[5] L7 - SU1
Range("J31").Value = Worksheets(2).Range("AQ69").Value + ((Worksheets(2).Range("AR69").Value) * 2)
Range("J32").Value = Worksheets(2).Range("BL69").Value '----> Longitud.
Range("J33").Value = Worksheets(2).Range("BT69").Value '----> Caudal.
Range("J34").Value = Worksheets(2).Range("BD69").Value '----> Presión inicial.

'[6] L1 a L5 - SU2
Range("T31").Value = Worksheets(2).Range("AS69").Value + ((Worksheets(2).Range("AT69").Value) * 2)
Range("T32").Value = Worksheets(2).Range("BM69").Value '----> Longitud.
Range("T33").Value = Worksheets(2).Range("BU69").Value '----> Caudal.
Range("T34").Value = Worksheets(2).Range("BE69").Value '----> Presión inicial.

'[7] L6 y L7 - SU2
Range("J37").Value = Worksheets(2).Range("AS69").Value + ((Worksheets(2).Range("AT69").Value) * 2)
Range("J38").Value = Worksheets(2).Range("BN69").Value '----> Longitud.
Range("J39").Value = Worksheets(2).Range("BV69").Value '----> Caudal.
Range("J40").Value = Worksheets(2).Range("BF69").Value '----> Presión inicial.

'[8] T1 - SU1
Range("T37").Value = Worksheets(2).Range("AU69").Value + ((Worksheets(2).Range("AV69").Value) * 2)
Range("T38").Value = Worksheets(2).Range("BO69").Value '----> Longitud.
Range("T39").Value = Worksheets(2).Range("BW69").Value '----> Caudal.
Range("T40").Value = Worksheets(2).Range("BG69").Value '----> Presión inicial.

```

```

'[9] T2 - SU2
Range("J43").Value = Worksheets(2).Range("AW69").Value + ((Worksheets(2).Range("AX69").Value) * 2)
Range("J44").Value = Worksheets(2).Range("BP69").Value '----> Longitud.
Range("J45").Value = Worksheets(2).Range("BX69").Value '----> Caudal.
Range("J46").Value = Worksheets(2).Range("BH69").Value '----> Presión inicial.

'[10] Sramal1 y Sramal2 - U
Range("T43").Value = Worksheets(2).Range("AQ166").Value + ((Worksheets(2).Range("AR166").Value) * 2)
Range("T44").Value = 1 '----> Longitud ramal 1.
Range("T45").Value = (Worksheets(2).Range("BI166").Value) - 1 '----> Longitud ramal 2.
Range("T46").Value = Worksheets(2).Range("BL166").Value '----> Caudal ramal 1.
Range("T47").Value = Worksheets(2).Range("BM166").Value '----> Caudal ramal 2.
Range("T49").Value = Worksheets(2).Range("BA166").Value '----> Presión inicial.

'[11] Prim
Range("AE43").Value = Worksheets(2).Range("AS166").Value + ((Worksheets(2).Range("AT166").Value) * 2)
Range("AE44").Value = Worksheets(2).Range("BJ166").Value '----> Longitud.
Range("AE45").Value = Worksheets(2).Range("BN166").Value '----> Caudal.
Range("AE46").Value = Worksheets(2).Range("BB166").Value '----> Presión inicial.

'[12] Trans
Range("AN43").Value = Worksheets(2).Range("AU166").Value + ((Worksheets(2).Range("AV166").Value) * 2)
Range("AN44").Value = Worksheets(2).Range("BK166").Value '----> Longitud.
Range("AN45").Value = Worksheets(2).Range("BO166").Value '----> Caudal.

'[13] Cabezal de riego
Range("AE50").Value = Worksheets(2).Range("BC166").Value '----> Presión inicial.

'[14] Tanque
Range("AN50").Value = Worksheets(2).Range("BH166").Value '----> Altura del tanque de almacenamiento.

```

End Sub

---

Sub InformeEsquemáticoDL()

```

'Este procedimiento llena los resultados en el Informe Esquemático de la Disposición Doble Lateral.
Worksheets(6).Select

'[3] L1 a L8 - SU1
Range("J20").Value = Worksheets(2).Range("AM64").Value + ((Worksheets(2).Range("AN64").Value) * 2) '
Range("J21").Value = Worksheets(2).Range("BB64").Value '----> Longitud.
Range("J22").Value = Worksheets(2).Range("BI64").Value '----> Caudal.
Range("J23").Value = Worksheets(2).Range("AU64").Value '----> Presión inicial.

'[4] L9 a L12 - SU1
Range("T20").Value = Worksheets(2).Range("AM64").Value + ((Worksheets(2).Range("AN64").Value) * 2) '
Range("T21").Value = Worksheets(2).Range("BC64").Value '----> Longitud.
Range("T22").Value = Worksheets(2).Range("BJ64").Value '----> Caudal.
Range("T23").Value = Worksheets(2).Range("AV64").Value '----> Presión inicial.

'[5] L13 y L14 - SU1
Range("J26").Value = Worksheets(2).Range("AM64").Value + ((Worksheets(2).Range("AN64").Value) * 2) '
Range("J27").Value = Worksheets(2).Range("BD64").Value '----> Longitud.
Range("J28").Value = Worksheets(2).Range("BK64").Value '----> Caudal.
Range("J29").Value = Worksheets(2).Range("AW64").Value '----> Presión inicial.

'[6] L1 a L10 - SU2
Range("T26").Value = Worksheets(2).Range("AO64").Value + ((Worksheets(2).Range("AP64").Value) * 2) '
Range("T27").Value = Worksheets(2).Range("BE64").Value '----> Longitud.
Range("T28").Value = Worksheets(2).Range("BL64").Value '----> Caudal.
Range("T29").Value = Worksheets(2).Range("AX64").Value '----> Presión inicial.

```

```

'[7] L11 a L14 - SU2
Range("J32").Value = Worksheets(2).Range("AO64").Value + ((Worksheets(2).Range("AP64").Value) * 2)
Range("J33").Value = Worksheets(2).Range("BF64").Value '---> Longitud.
Range("J34").Value = Worksheets(2).Range("BM64").Value '---> Caudal.
Range("J35").Value = Worksheets(2).Range("AY64").Value '---> Presión inicial.

'[8] T1 -SU1
Range("T32").Value = Worksheets(2).Range("AQ64").Value + ((Worksheets(2).Range("AR64").Value) * 2)
Range("T33").Value = Worksheets(2).Range("BG64").Value '---> Longitud.
Range("T34").Value = Worksheets(2).Range("BN64").Value '---> Caudal.
Range("T35").Value = Worksheets(2).Range("AZ64").Value '---> Presión inicial.

'[9] T2 - SU2
Range("J38").Value = Worksheets(2).Range("AS64").Value + ((Worksheets(2).Range("AT64").Value) * 2)
Range("J39").Value = Worksheets(2).Range("BH64").Value '---> Longitud.
Range("J40").Value = Worksheets(2).Range("BO64").Value '---> Caudal.
Range("J41").Value = Worksheets(2).Range("BA64").Value '---> Presión inicial.

'[10] Sramall1 y Sramal2
Range("T38").Value = Worksheets(2).Range("AO162").Value + ((Worksheets(2).Range("AP162").Value) * 2)
Range("T39").Value = 1 '---> Longitud ramal 1.
Range("T40").Value = (Worksheets(2).Range("BG162").Value) - 1 '---> Longitud ramal 2.
Range("T41").Value = Worksheets(2).Range("BJ162").Value '---> Caudal ramal 1.
Range("T42").Value = Worksheets(2).Range("BK162").Value '---> Caudal ramal 2.
Range("T44").Value = Worksheets(2).Range("AY162").Value '---> Presión inicial.

'[11] Prim
Range("AE38").Value = Worksheets(2).Range("AQ162").Value + ((Worksheets(2).Range("AR162").Value) * 2)
Range("AE39").Value = Worksheets(2).Range("BH162").Value '---> Longitud.
Range("AE40").Value = Worksheets(2).Range("BL162").Value '---> Caudal.
Range("AE41").Value = Worksheets(2).Range("AZ162").Value '---> Presión inicial.

'[12] Trans
Range("AN38").Value = Worksheets(2).Range("AS162").Value + ((Worksheets(2).Range("AT162").Value) * 2)
Range("AN39").Value = Worksheets(2).Range("BI162").Value '---> Longitud.
Range("AN40").Value = Worksheets(2).Range("BM162").Value '---> Caudal.

'[13] Cabezal de riego
Range("AE45").Value = Worksheets(2).Range("BA162").Value '---> Presión inicial.

'[14] Tanque de almacenamiento
Range("AN45").Value = Worksheets(2).Range("BF162").Value '---> Altura del tanque de almacenamiento.

```

End Sub

Sub InformeEsquematicoZZ()

```

'Este procedimiento llena los resultados en el Informe Esquemático de la Disposición de ZigZag
Worksheets(7).Select

'[3] L1 a L4 - SU1
Range("J20").Value = Worksheets(2).Range("AM60").Value + ((Worksheets(2).Range("AN60").Value) * 2)
Range("J21").Value = Worksheets(2).Range("BB60").Value '---> Longitud.
Range("J22").Value = Worksheets(2).Range("BI60").Value '---> Caudal.
Range("J23").Value = Worksheets(2).Range("AU60").Value '---> Presión inicial.

'[4] L5 a L6 - SU1
Range("T20").Value = Worksheets(2).Range("AM60").Value + ((Worksheets(2).Range("AN60").Value) * 2)
Range("T21").Value = Worksheets(2).Range("BC60").Value '---> Longitud.
Range("T22").Value = Worksheets(2).Range("BJ60").Value '---> Caudal.
Range("T23").Value = Worksheets(2).Range("AV60").Value '---> Presión inicial.

```

```

'[5] L7 - SU1
Range("J26").Value = Worksheets(2).Range("AM60").Value + ((Worksheets(2).Range("AN60").Value) * 2)
Range("J27").Value = Worksheets(2).Range("BD60").Value '---> Longitud.
Range("J28").Value = Worksheets(2).Range("BK60").Value '---> Caudal.
Range("J29").Value = Worksheets(2).Range("AW60").Value '---> Presión inicial.

'[6] L1 a L5 - SU2
Range("T26").Value = Worksheets(2).Range("AO60").Value + ((Worksheets(2).Range("AP60").Value) * 2)
Range("T27").Value = Worksheets(2).Range("BE60").Value '---> Longitud.
Range("T28").Value = Worksheets(2).Range("BL60").Value '---> Caudal.
Range("T29").Value = Worksheets(2).Range("AX60").Value '---> Presión inicial.

'[7] L6 y L7 - SU2
Range("J32").Value = Worksheets(2).Range("AO60").Value + ((Worksheets(2).Range("AP60").Value) * 2)
Range("J33").Value = Worksheets(2).Range("BF60").Value '---> Longitud.
Range("J34").Value = Worksheets(2).Range("BM60").Value '---> Caudal.
Range("J35").Value = Worksheets(2).Range("AY60").Value '---> Presión inicial.

'[8] T1 - SU1
Range("T32").Value = Worksheets(2).Range("AQ60").Value + ((Worksheets(2).Range("AR60").Value) * 2)
Range("T33").Value = Worksheets(2).Range("BG60").Value '---> Longitud.
Range("T34").Value = Worksheets(2).Range("BN60").Value '---> Caudal.
Range("T35").Value = Worksheets(2).Range("AZ60").Value '---> Presión inicial.

'[9] T2 - SU2
Range("J38").Value = Worksheets(2).Range("AS60").Value + ((Worksheets(2).Range("AT60").Value) * 2)
Range("J39").Value = Worksheets(2).Range("BH60").Value '---> Longitud.
Range("J40").Value = Worksheets(2).Range("BO60").Value '---> Caudal.
Range("J41").Value = Worksheets(2).Range("BA60").Value '---> Presión inicial.

'[10] Sramal1 y Sramal2
Range("T38").Value = Worksheets(2).Range("AO158").Value + ((Worksheets(2).Range("AP158").Value) * 2)
Range("T39").Value = 1 '---> Longitud ramal 1.
Range("T40").Value = (Worksheets(2).Range("BG158").Value) - 1 '---> Longitud ramal 2.
Range("T41").Value = Worksheets(2).Range("BJ158").Value '---> Caudal ramal 1.
Range("T42").Value = Worksheets(2).Range("BK158").Value '---> Caudal ramal 2.
Range("T44").Value = Worksheets(2).Range("AY158").Value '---> Presión inicial.

'[11] Prim
Range("AE38").Value = Worksheets(2).Range("AQ158").Value + ((Worksheets(2).Range("AR158").Value) *
Range("AE39").Value = Worksheets(2).Range("BH158").Value '---> Longitud.
Range("AE40").Value = Worksheets(2).Range("BL158").Value '---> Caudal.
Range("AE41").Value = Worksheets(2).Range("AZ158").Value '---> Presión inicial.

'[12] Trans
Range("AN38").Value = Worksheets(2).Range("AS158").Value + ((Worksheets(2).Range("AT158").Value) *
Range("AN39").Value = Worksheets(2).Range("BI158").Value '---> Longitud.
Range("AN40").Value = Worksheets(2).Range("BM158").Value '---> Caudal.

'[13] Cabezal de riego
Range("AE45").Value = Worksheets(2).Range("BA158").Value '---> Presión inicial.

'[14] Tanque
Range("AN45").Value = Worksheets(2).Range("BF158").Value '---> Altura del tanque de almacenamiento.

```

End Sub

Sub GuardarInformeEsquematicoAnillos()

'Este procedimiento va a guardar el Informe Esquemático de la Disposición de Anillos.

```

'Declarar las variables necesarias:
Dim RutaCarpeta As String, NombreHoja As String

'Mensaje de Información:
MsgBox "Por favor, seleccione la carpeta donde desea" & vbCrLf & " guardar el Informe Esquemático -

'Abrir Cuadro de Dialogo para seleccionar la carpeta donde se va a guardar el Informe.
With Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)      '--->msoFileDialogFolderPicker: Permite
.Title = "Seleccionar Carpeta para Informe Esquemático - Disposición de Anillos"
.Show

'Control de Errores: Sólo se guarda el archivo si el usuario ha seleccionado una carpeta cor
If .SelectedItems.Count = 0 Then '---> Si no se ha seleccionado ninguna carpeta.
    MsgBox "No se ha guardado el Informe Esquemático - Disposición de Anillos." & vbCrLf &

Else      '---> Si se ha elegido una carpeta.
    RutaCarpeta = .SelectedItems(1)
    'Establecer el nombre de la hoja en la variable:
    NombreHoja = Worksheets(5).Name
    'Mensaje de Información:
    MsgBox "Guardando en .PDF " & NombreHoja, vbInformation, "Información"
    'Exportar el Informe como PDF:
    Worksheets(5).ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
    Filename:=RutaCarpeta & "\" & NombreHoja & ".pdf", openafterpublish:=False
    '---> Instrucción traducida: Exportar el archivo como un formato de tipo PDF en la ruta c
    'Mensaje de Información:
    MsgBox ";" & NombreHoja & " se ha guardado satisfactoriamente!", vbInformation, "Informe
End If

End With

End Sub

```

---

```

Sub GuardarInformeEsquematicoDL()
'Este procedimiento va a guardar el Informe Esquemático de la Disposición Doble Lateral.

'Declarar las variables necesarias:
Dim RutaCarpeta As String, NombreHoja As String

'Mensaje de Información:
MsgBox "Por favor, seleccione la carpeta donde desea" & vbCrLf & " guardar el Informe Esquemático -

'Abrir Cuadro de Dialogo para seleccionar la carpeta donde se va a guardar el Informe.
With Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)      '--->msoFileDialogFolderPicker: Permite
.Title = "Seleccionar Carpeta para Informe Esquemático - Disposición Doble Lateral"
.Show

'Control de Errores: Sólo se guarda el archivo si el usuario ha seleccionado una carpeta cor
If .SelectedItems.Count = 0 Then '---> Si no se ha seleccionado ninguna carpeta.
    MsgBox "No se ha guardado el Informe Esquemático - Disposición Doble Lateral." & vbCrLf

Else      '---> Si se ha elegido una carpeta.
    RutaCarpeta = .SelectedItems(1)
    'Establecer el nombre de la hoja en la variable:
    NombreHoja = Worksheets(6).Name
    'Mensaje de Información:
    MsgBox "Guardando en .PDF " & NombreHoja, vbInformation, "Información"
    'Exportar el Informe como PDF:
    Worksheets(6).ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
    Filename:=RutaCarpeta & "\" & NombreHoja & ".pdf", openafterpublish:=False
    '---> Instrucción traducida: Exportar el archivo como un formato de tipo PDF en la ruta c
    'Mensaje de Información:
    MsgBox ";" & NombreHoja & " se ha guardado satisfactoriamente!", vbInformation, "Informe

```

```

        End If

    End With

End Sub

Sub GuardarInformeEsquematicoZZ()

    'Este procedimiento va a guardar el Informe Esquematico de la Disposición de ZigZag.

    'Declarar las variables necesarias:
    Dim RutaCarpeta As String, NombreHoja As String

    'Mensaje de Información:
    MsgBox "Por favor, seleccione la carpeta donde desea" & vbCrLf & " guardar el Informe Esquemático -

    'Abrir Cuadro de Dialogo para seleccionar la carpeta donde se va a guardar el Informe.
    With Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)      '--->msoFileDialogFolderPicker: Permite
        .Title = "Seleccionar Carpeta para Informe Esquemático - Disposición de ZigZag"
        .Show

        'Control de Errores: Sólo se guarda el archivo si el usuario ha seleccionado una carpeta con
        If .SelectedItems.Count = 0 Then '---> Si no se ha seleccionado ninguna carpeta.
            MsgBox "No se ha guardado el Informe Esquemático - Disposición de ZigZag." & vbCrLf & "

        Else      '---> Si se ha elegido una carpeta.
            RutaCarpeta = .SelectedItems(1)
            'Establecer el nombre de la hoja en la variable:
            NombreHoja = Worksheets(7).Name
            'Mensaje de Información:
            MsgBox "Guardando en .PDF " & NombreHoja, vbInformation, "Información"
            'Exportar el Informe como PDF:
            Worksheets(7).ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
            Filename:=RutaCarpeta & "\" & NombreHoja & ".pdf", OpenAfterPublish:=False
            '---> Instrucción traducida: Exportar el archivo como un formato de tipo PDF en la ruta c
            'Mensaje de Información:
            MsgBox "; " & NombreHoja & " se ha guardado satisfactoriamente!", vbInformation, "Informe
        End If

    End With

End Sub

Sub GuardarCompararDisposiciones()

    'Este procedimiento va a guardar la Comparación de Disposiciones.

    'Declarar las variables necesarias:
    Dim RutaCarpeta As String, NombreHoja As String

    'Mensaje de Información:
    MsgBox "Por favor, seleccione la carpeta donde desea" & vbCrLf & " guardar la Comparación de Disposi

    'Abrir Cuadro de Dialogo para seleccionar la carpeta donde se va a guardar el Archivo.
    With Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)      '--->msoFileDialogFolderPicker: Permite
        .Title = "Seleccionar Carpeta para guardar la Comparación de Disposiciones"
        .Show

        'Control de Errores: Sólo se guarda el archivo si el usuario ha seleccionado una carpeta con
        If .SelectedItems.Count = 0 Then '---> Si no se ha seleccionado ninguna carpeta.
            MsgBox "No se ha guardado la Comparación de Disposiciones" & vbCrLf & "Si desea Guardar

        Else      '---> Si se ha elegido una carpeta.

```

```

RutaCarpeta = .SelectedItems(1)
'Establecer el nombre de la hoja en la variable:
NombreHoja = Worksheets(8).Name
'Mensaje de Información:
MsgBox "Guardando en .PDF " & NombreHoja, vbInformation, "Información"
'Exportar el Archivo como PDF:
Worksheets(8).ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
Filename:=RutaCarpeta & "\" & NombreHoja & ".pdf", openafterpublish:=False
'---> Instrucción traducida: Exportar el archivo como un formato de tipo PDF en la ruta c
'Mensaje de Información:
MsgBox ";" & NombreHoja & " se ha guardado satisfactoriamente!", vbInformation, "Informe"
End If

End With

End Sub

```

Figura J-17. Código VBA en Módulo "Llenar\_Resultados".

```

Sub RNN_Boton2()

'Este procedimiento llena los resultados de la Necesidad Neta (Nn) al presionar el Botón2.

'Declarar las variables para los ComboBox
Dim CB_1 As String, CB_2 As String

'Asignar a unas variables el valor de los ComboBox1 y 2 de la Hoja1:
CB_1 = Worksheets(1).ComboBox1.Value
CB_2 = Worksheets(1).ComboBox2.Value

'Insertar los resultados:
If CB_2 = "Año 1" Then      '---> Si se selecciona Año 1.

    If CB_1 = "Enero" Then      '---> Si se selecciona Enero.
        Range("U29").Value = 0.83      '---> El valor de Nn.
        Range("AM29").Value = 1.88      '---> ETC.
        Range("AN29").Value = 1.05      '---> Pe.

    ElseIf CB_1 = "Julio" Then      '---> Si se selecciona Julio.
        Range("U29").Value = 0.02      '---> El valor de Nn.
        Range("AM29").Value = 1.98      '---> ETC.
        Range("AN29").Value = 1.97      '---> Pe.

    Else      '---> Si se selecciona un mes diferente a los anteriores.
        'Mensaje de advertencia:
        MsgBox "En el mes de " & CB_1 & " del " & CB_2 & " el riego es innecesario." & vbCrLf & "Por"
    End If

ElseIf CB_2 = "Año 2" Then      '---> Si se selecciona Año 2.

    If CB_1 = "Enero" Then      '---> Si se selecciona Enero.
        Range("U29").Value = 1.54      '---> El valor de Nn.
        Range("AM29").Value = 2.59      '---> ETC.
        Range("AN29").Value = 1.05      '---> Pe.

    ElseIf CB_1 = "Febrero" Then      '---> Si se selecciona Febrero.
        Range("U29").Value = 0.62      '---> El valor de Nn.
        Range("AM29").Value = 3.07      '---> ETC.
        Range("AN29").Value = 2.45      '---> Pe.

```

```

ElseIf CB_1 = "Marzo" Then          '---> Si se selecciona Marzo.
    Range("U29").Value = 0.43      '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 2.54     '----> ETC.
    Range("AN29").Value = 2.11     '----> Pe.

ElseIf CB_1 = "Abril" Then         '---> Si se selecciona Abril.
    Range("U29").Value = 0.26      '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 2.56     '----> ETC.
    Range("AN29").Value = 2.3      '----> Pe.

ElseIf CB_1 = "Junio" Then         '---> Si se selecciona Junio.
    Range("U29").Value = 0.62      '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 2.61     '----> ETC.
    Range("AN29").Value = 1.99     '----> Pe.

ElseIf CB_1 = "Julio" Then         '---> Si se selecciona Julio.
    Range("U29").Value = 0.77      '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 2.73     '----> ETC.
    Range("AN29").Value = 1.97     '----> Pe.

ElseIf CB_1 = "Agosto" Then       '---> Si se selecciona Agosto.
    Range("U29").Value = 0.1        '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 2.63     '----> ETC.
    Range("AN29").Value = 2.53     '----> Pe.

ElseIf CB_1 = "Septiembre" Then   '---> Si se selecciona Septiembre.
    Range("U29").Value = 0.57      '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 2.57     '----> ETC.
    Range("AN29").Value = 1.99     '----> Pe.

ElseIf CB_1 = "Diciembre" Then     '---> Si se selecciona Diciembre.
    Range("U29").Value = 0.58      '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 2.83     '----> ETC.
    Range("AN29").Value = 2.25     '----> Pe.
Else                                '---> Si se selecciona un mes diferente a los anteriores.
    'Mensaje de advertencia:
    MsgBox "En el mes de " & CB_1 & " del " & CB_2 & " el riego es innecesario." & vbCrLf & "Po
End If

ElseIf CB_2 = "Año 3" Then         '---> Si se selecciona Año 3.

    If CB_1 = "Enero" Then         '---> Si se selecciona Enero.
        Range("U29").Value = 2.66  '---> El valor de Nn.
        Range("AM29").Value = 3.72  '----> ETC.
        Range("AN29").Value = 1.05  '----> Pe.

    ElseIf CB_1 = "Febrero" Then   '---> Si se selecciona Febrero.
        Range("U29").Value = 1.96   '---> El valor de Nn.
        Range("AM29").Value = 4.41  '----> ETC.
        Range("AN29").Value = 2.45  '----> Pe.

    ElseIf CB_1 = "Marzo" Then     '---> Si se selecciona Marzo.
        Range("U29").Value = 1.53   '---> El valor de Nn.
        Range("AM29").Value = 3.64  '----> ETC.
        Range("AN29").Value = 2.11  '----> Pe.

    ElseIf CB_1 = "Abril" Then     '---> Si se selecciona Abril.
        Range("U29").Value = 1.38   '---> El valor de Nn.
        Range("AM29").Value = 3.68  '----> ETC.
        Range("AN29").Value = 2.3    '----> Pe.

```

```

ElseIf CB_1 = "Mayo" Then          '---> Si se selecciona Mayo.
    Range("U29").Value = 0.56      '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 3.52    '---> ETC.
    Range("AN29").Value = 2.96    '---> Pe.

ElseIf CB_1 = "Junio" Then        '---> Si se selecciona Junio.
    Range("U29").Value = 1.76     '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 3.75    '---> ETC.
    Range("AN29").Value = 1.99    '---> Pe.

ElseIf CB_1 = "Julio" Then        '---> Si se selecciona Julio.
    Range("U29").Value = 1.96     '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 3.92    '---> ETC.
    Range("AN29").Value = 1.97    '---> Pe.

ElseIf CB_1 = "Agosto" Then      '---> Si se selecciona Agosto.
    Range("U29").Value = 1.24     '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 3.77    '---> ETC.
    Range("AN29").Value = 2.53    '---> Pe.

ElseIf CB_1 = "Septiembre" Then   '---> Si se selecciona Septiembre.
    Range("U29").Value = 1.69     '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 3.68    '---> ETC.
    Range("AN29").Value = 1.99    '---> Pe.

ElseIf CB_1 = "Noviembre" Then    '---> Si se selecciona Noviembre.
    Range("U29").Value = 0.25     '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 3.38    '---> ETC.
    Range("AN29").Value = 3.13    '---> Pe.

ElseIf CB_1 = "Diciembre" Then    '---> Si se selecciona Diciembre.
    Range("U29").Value = 1.81     '---> El valor de Nn.
    Range("AM29").Value = 4.07    '---> ETC.
    Range("AN29").Value = 2.25    '---> Pe.

Else                               '---> Si se selecciona un mes diferente a los anteriores.
    'Mensaje de advertencia:
    MsgBox "En el mes de " & CB_1 & " del " & CB_2 & " el riego es innecesario." & vbCrLf & "Po
End If

End If

End Sub

```

---

```

Sub RDn_Boton3()

'Este procedimiento llena los resultados de la Dosis Neta (Dn) al presionar el Botón3.

'Declarar las variables para los OptionButton
Dim Arenoso As Boolean, FrancoArenoso As Boolean, Franco As Boolean, FrancoArcilloso As Boolean, Ar

'Asignar a unas variables el valor de los OptionButton de la Hoja1:
Arenoso = Worksheets(1).OptionButton1.Value
FrancoArenoso = Worksheets(1).OptionButton2.Value
Franco = Worksheets(1).OptionButton3.Value
FrancoArcilloso = Worksheets(1).OptionButton4.Value
Arcilloso = Worksheets(1).OptionButton5.Value

'Declarar unas variables para almacenar los parámetros de la Dosis Neta:
Dim Dn As Single, AU As Single, DPM As Integer, CC As Integer, PMP As Integer, da As Single, Pr As

```

```

'Establecer el valor de las variables fijas:
DPM = 30      '---> Déficit Permisible de Manejo, valor seleccionado de acuerdo a las caract. de la G
Pr = (Worksheets(1).TextBox1.Value) / 100      '---> Profundidad Efectiva de las Raíces en [metros].

'Establecer el valor de las variables que dependen del OptionButton:
If Arenoso = True Then      '---> Si el tipo de suelo Arenoso está activado.
    da = 1.65      '---> Densidad aparente.
    CC = 9      '---> Capacidad de Campo.
    PMP = 4      '---> Punto de Marchitez Permanente.
    'Orden adicional: Llenar el TextBox3
    Worksheets(1).Label1.Caption = " Arenoso"

ElseIf FrancoArenoso = True Then      '---> Si el tipo de suelo FrancoArenoso está activado.
    da = 1.5      '---> Densidad aparente.
    CC = 14      '---> Capacidad de Campo.
    PMP = 6      '---> Punto de Marchitez Permanente.
    'Orden adicional: Llenar el TextBox3
    Worksheets(1).Label1.Caption = " Franco - arenoso"

ElseIf Franco = True Then      '---> Si el tipo de suelo Franco está activado.
    da = 1.4      '---> Densidad aparente.
    CC = 22      '---> Capacidad de Campo.
    PMP = 10      '---> Punto de Marchitez Permanente.
    'Orden adicional: Llenar el TextBox3
    Worksheets(1).Label1.Caption = " Franco"

ElseIf FrancoArcilloso = True Then      '---> Si el tipo de suelo FrancoArcilloso está activado.
    da = 1.35      '---> Densidad aparente.
    CC = 27      '---> Capacidad de Campo.
    PMP = 13      '---> Punto de Marchitez Permanente.
    'Orden adicional: Llenar el TextBox3
    Worksheets(1).Label1.Caption = " Franco - arcilloso"

ElseIf Arcilloso = True Then      '---> Si el tipo de suelo Arcilloso está activado.
    da = 1.25      '---> Densidad aparente.
    CC = 35      '---> Capacidad de Campo.
    PMP = 17      '---> Punto de Marchitez Permanente.
    'Orden adicional: Llenar el TextBox3
    Worksheets(1).Label1.Caption = " Arcilloso"
End If

'Calcular el valor de la variable Agua Utilizable por el Cultivo:
AU = 10 * (CC - PMP) * da * Pr
Range("AN48").Value = AU

'Calcular y llenar el valor de la Dosis Neta:
Dn = DPM * (AU / 100)
Range("U48").Value = Dn

```

End Sub

---

Sub RIEIaprox\_Boton3()

```

'Este procedimiento llena los resultados del Intervalo(I) y el Intervalo aprox(Iaprox) al presionar

'Declarar las variables para los parámetros de los Intervalos:
Dim I As Single, Iaprox As Integer, Iempirico As Integer

'Establecer el valor de las variables fijas
Iempirico = 4      '---> Intervalo entre riegos actual empleado empíricamente por el propietario de

'Calcular y llenar el valor del Intervalo entre riegos (I):

```

```
I = Round((Range("U48").Value) / (Range("u29").Value), 2) '---> Con la función Round y el argument
Range("u49").Value = I
```

```
'Calcular y llenar el valor del Intervalo entre riegos aproximado recomendado (Iaprox):
Iaprox = Int(I / Iempirico) '---> Se aproxima el valor al Entero menor.
Range("U56") = Iaprox * Iempirico
```

End Sub

---

```
Sub RfinalesSP_Boton4()
```

```
'Este procedimiento llena los resultados de la Dosis neta ajustada (Dn.ajust), Dosis bruta (Db) e (I
```

```
'Declarar las variables necesarias:
Dim Iaprox As Integer, Dn_ajust As Single, Db As Single
```

```
'Verificar el estado de los CheckBox:
If Worksheets(1).CheckBox2.Value = True Then '---> Si el 'No' está activado.
    Iaprox = Worksheets(1).TextBox2.Value '---> Iaprox es igual al valor ingresado por el usua
```

```
ElseIf Worksheets(1).CheckBox1.Value = True Then '---> Si el 'Sí' está activado.
    Iaprox = Worksheets(1).Range("U56").Value '---> Iaprox es igual al Iaprox recomendado por el
End If
```

```
'Calcular y llenar el valor de la Dosis neta ajustada (Dn.ajust):
Dn_ajust = Iaprox * (Worksheets(1).Range("U29").Value)
Worksheets(1).Range("U65").Value = Dn_ajust
```

```
'Calcular y llenar el valor de la Dosis bruta (Db):
Db = 100 * (Dn_ajust / 90)
Worksheets(1).Range("U66").Value = Db
```

```
'Llenar el valor del Intervalo entre riegos aproximado (Iaprox):
Worksheets(1).Range("U67").Value = Iaprox
```

End Sub

---

```
Sub CalculoDm_bulbo()
```

```
'Este programa calcula el Diámetro Mojado del Bulbo (Dm_bulbo).
```

```
'Declarar las variables necesarias:
Dim Dm_bulbo As Single, Q As Single
```

```
'Se evalúa el tipo de suelo:
If Worksheets(1).Label1.Caption = " Arenoso" Then '---> Si es Arenoso.
```

```
'Se evalúa el valor del caudal:
If Worksheets(1).ComboBox6.Value = "1,2 [L/h]" Then
    Q = 1.2
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "2,0 [L/h]" Then
    Q = 2
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "3,0 [L/h]" Then
    Q = 3
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "4,0 [L/h]" Then
    Q = 4
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "8,0 [L/h]" Then
    Q = 8
End If
```

```
'Se establece el valor del Dm_bulbo:
Dm_bulbo = 1.2 + (0.1 * Q)
```

```

ElseIf ((Worksheets(1).Label1.Caption = " Franco - arenoso") Or (Worksheets(1).Label1.Caption = "
'Se evalúa el valor del caudal:
If Worksheets(1).ComboBox6.Value = "1,2 [L/h]" Then
    Q = 1.2
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "2,0 [L/h]" Then
    Q = 2
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "3,0 [L/h]" Then
    Q = 3
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "4,0 [L/h]" Then
    Q = 4
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "8,0 [L/h]" Then
    Q = 8
End If
'Se establece el valor del Dm_bulbo:
Dm_bulbo = 0.6 + (0.1 * Q)

ElseIf Worksheets(1).Label1.Caption = " Arcilloso" Then '---> Si es Arcilloso.
'Se evalúa el valor del caudal:
If Worksheets(1).ComboBox6.Value = "1,2 [L/h]" Then
    Q = 1.2
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "2,0 [L/h]" Then
    Q = 2
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "3,0 [L/h]" Then
    Q = 3
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "4,0 [L/h]" Then
    Q = 4
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "8,0 [L/h]" Then
    Q = 8
End If
'Se establece el valor del Dm_bulbo:
Dm_bulbo = 0.3 + (1.2 * Q)
End If
'Se pega los valores en las celdas requeridas:
Range("AM84").Value = Dm_bulbo
Range("AN84").Value = Q
Range("AO84").Value = Range("U66").Value

```

End Sub

---

Sub RInfoTecnicaGotero()

```

'Este procedimiento llena la Información General y Técnica del Gotero seleccionado al oprimir el Bo

'Declarar las variables necesarias:
Dim K As Single, x As Single

'[INFORMACIÓN GENERAL]
'---> Para Tipo de Gotero:
If Worksheets(1).ComboBox5.Value = "Autocompensante" Then '---> Si se eligió Autocompensante.
    Range("T26").Value = "(PCJ) Autocompensante"
ElseIf Worksheets(1).ComboBox5.Value = "No Autocompensante" Then '---> Si se eligió No Autocompensa
    Range("T26").Value = "(Botón) No Autocompensante"
End If
'---> Para ne:
Range("V28").Value = Worksheets(1).Range("U84").Value

'[INFORMACIÓN TÉCNICA]
'---> Para Q_gotero
Range("V32").Value = Worksheets(1).Range("AN84").Value
'---> Para K y X
If Worksheets(1).ComboBox5.Value = "Autocompensante" Then '---> Si se eligió Autocompensante.
    x = 0.0001

```

```

If Worksheets(1).ComboBox6.Value = "1,2 [L/h]" Then      '---> Si se eligió Caudal de 1.2 [L/h]
    K = 1.2
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "2,0 [L/h]" Then  '---> Si se eligió Caudal de 2.0 [L,
    K = 2
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "3,0 [L/h]" Then  '---> Si se eligió Caudal de 3.0 [L,
    K = 3
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "4,0 [L/h]" Then  '---> Si se eligió Caudal de 4.0 [L,
    K = 4
ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "8,0 [L/h]" Then  '---> Si se eligió Caudal de 8.0 [L,
    K = 8
End If

ElseIf Worksheets(1).ComboBox5.Value = "No Autocompensante" Then  '---> Si se eligió No Autocompen:
    x = 0.48
    If Worksheets(1).ComboBox6.Value = "2,0 [L/h]" Then      '---> Si se eligió Caudal de 2.0 [L/h]
        K = 0.662
    ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "3,0 [L/h]" Then  '---> Si se eligió Caudal de 3.0 [L,
        K = 0.993
    ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "4,0 [L/h]" Then  '---> Si se eligió Caudal de 4.0 [L,
        K = 1.325
    ElseIf Worksheets(1).ComboBox6.Value = "8,0 [L/h]" Then  '---> Si se eligió Caudal de 8.0 [L,
        K = 2.649
    End If
End If
'Con los valores establecidos, llenar las celdas:
Range("V34").Value = K
Range("V35").Value = x

```

End Sub

---

Sub RSubUnidadAnillos()

```

'Para la Disposición de Anillos.
'Este procedimiento organiza los valores necesarios antes de ir a EES.
Worksheets(2).Select

'Llenar las casillas correspondientes:
'---> Para K:
Range("AJ68").Value = Range("V34").Value
'---> Para x:
Range("AK68").Value = Range("V35").Value
'---> Para ne:
Range("AL68").Value = Range("V28").Value

'---> Para Di_SL1:
Range("AM68").Value = (Range("J51").Value - (2 * (Range("J52").Value))) / 1000
'---> Para e_SL1:
Range("AN68").Value = (Range("J52").Value) / 1000

'---> Para Di_SL2:
Range("AO68").Value = (Range("W51").Value - (2 * (Range("W52").Value))) / 1000
'---> Para e_SL2:
Range("AP68").Value = (Range("W52").Value) / 1000

'---> Para Di_L1
Range("AQ68").Value = (Range("J59").Value - (2 * (Range("J60").Value))) / 1000
'---> Para e_L1:
Range("AR68").Value = (Range("J60").Value) / 1000

'---> Para Di_L2
Range("AS68").Value = (Range("W59").Value - (2 * (Range("W60").Value))) / 1000

```

```

'----> Para e_L2:
Range("AT68").Value = (Range("W60").Value) / 1000

'----> Para Di_T1:
Range("AU68").Value = (Range("J67").Value - (2 * (Range("J68").Value))) / 1000
'----> Para e_T1:
Range("AV68").Value = (Range("J68").Value) / 1000

'----> Para Di_T2:
Range("AW68").Value = (Range("W67").Value - (2 * (Range("W68").Value))) / 1000
'----> Para e_T2:
Range("AX68").Value = (Range("W68").Value) / 1000

```

---

End Sub

Sub RUnidadAnillos()

```

'Para la Disposición de Anillos.
'Este procedimiento organiza los valores necesarios antes de ir a EES.

Worksheets(2).Select

'Llenar las casillas correspondientes:
'----> Para Q_T1:
Range("AJ165").Value = Range("BW68").Value
'----> Para Q_T2:
Range("AK165").Value = Range("BX68").Value

'----> Para Pi_T1:
Range("AL165").Value = (Range("BG68").Value) / 100000000
'----> Para Pi_T2:
Range("AM165").Value = (Range("BH68").Value) / 100000000
'----> Para V_L1:
Range("AN165").Value = Range("CB68").Value
'----> Para V_L2:
Range("AO165").Value = Range("CC68").Value
'----> Para V_T1:
Range("AP165").Value = Range("CD68").Value

'----> Para Di_S:
Range("AQ165").Value = (Range("J164").Value - (2 * (Range("J165").Value))) / 1000
'----> Para e_S:
Range("AR165").Value = (Range("J165").Value) / 1000

'----> Para Di_P:
Range("AS165").Value = (Range("W164").Value - (2 * (Range("W165").Value))) / 1000
'----> Para e_P:
Range("AT165").Value = (Range("W165").Value) / 1000

'----> Para Di_T:
Range("AU165").Value = (Range("V179").Value - (2 * (Range("V180").Value))) / 1000
'----> Para e_T:
Range("AV165").Value = (Range("V180").Value) / 1000

```

---

End Sub

Sub RSubUnidadDL()

```
'Para la Disposición de Doble Lateral.  
'Este procedimiento organiza los valores necesarios antes de ir a EES.
```

```
Worksheets(2).Select
```

```
'Llenar las casillas correspondientes:
```

```
'---> Para K:
```

```
Range("AJ63").Value = Range("V34").Value
```

```
'---> Para x:
```

```
Range("AK63").Value = Range("V35").Value
```

```
'---> Para ne:
```

```
Range("AL63").Value = Range("V28").Value
```

```
'---> Para Di_L1
```

```
Range("AM63").Value = (Range("J59").Value - (2 * (Range("J60").Value))) / 1000
```

```
'---> Para e_L1:
```

```
Range("AN63").Value = (Range("J60").Value) / 1000
```

```
'---> Para Di_L2
```

```
Range("AO63").Value = (Range("W59").Value - (2 * (Range("W60").Value))) / 1000
```

```
'---> Para e_L2:
```

```
Range("AP63").Value = (Range("W60").Value) / 1000
```

```
'---> Para Di_T1:
```

```
Range("AQ63").Value = (Range("J67").Value - (2 * (Range("J68").Value))) / 1000
```

```
'---> Para e_T1:
```

```
Range("AR63").Value = (Range("J68").Value) / 1000
```

```
'---> Para Di_T2:
```

```
Range("AS63").Value = (Range("W67").Value - (2 * (Range("W68").Value))) / 1000
```

```
'---> Para e_T2:
```

```
Range("AT63").Value = (Range("W68").Value) / 1000
```

```
End Sub
```

```
Sub RUnidadDL()
```

```
'Para la Disposición de Doble Lateral.
```

```
'Este procedimiento organiza los valores necesarios antes de ir a EES.
```

```
Worksheets(2).Select
```

```
'Llenar las casillas correspondientes:
```

```
'---> Para Q_T1:
```

```
Range("AJ161").Value = Range("BN63").Value
```

```
'---> Para Q_T2:
```

```
Range("AK161").Value = Range("BO63").Value
```

```
'---> Para Pi_T1:
```

```
Range("AL161").Value = (Range("AZ63").Value) / 100000000
```

```
'---> Para Pi_T2:
```

```
Range("AM161").Value = (Range("BA63").Value) / 100000000
```

```
'---> Para V_T1:
```

```
Range("AN161").Value = Range("BR63").Value
```

```
'---> Para Di_S:
```

```
Range("AO161").Value = (Range("J164").Value - (2 * (Range("J165").Value))) / 1000
```

```
'---> Para e_S:
```

```
Range("AP161").Value = (Range("J165").Value) / 1000
```

```

'---> Para Di_P:
Range("AQ161").Value = (Range("W164").Value - (2 * (Range("W165").Value))) / 1000
'---> Para e_P:
Range("AR161").Value = (Range("W165").Value) / 1000

'---> Para Di_T:
Range("AS161").Value = (Range("V179").Value - (2 * (Range("V180").Value))) / 1000
'---> Para e_T:
Range("AT161").Value = (Range("V180").Value) / 1000

```

End Sub

---

Sub RSubUnidadZZ()

```

'Para la Disposición de ZigZag.
'Este procedimiento organiza los valores necesarios antes de ir a EES.

Worksheets(2).Select

'Llenar las casillas correspondientes:
'---> Para K:
Range("AJ59").Value = Range("V34").Value
'---> Para x:
Range("AK59").Value = Range("V35").Value
'---> Para ne:
Range("AL59").Value = Range("V28").Value

'---> Para Di_L1
Range("AM59").Value = (Range("J59").Value - (2 * (Range("J60").Value))) / 1000
'---> Para e_L1:
Range("AN59").Value = (Range("J60").Value) / 1000

'---> Para Di_L2
Range("AO59").Value = (Range("W59").Value - (2 * (Range("W60").Value))) / 1000
'---> Para e_L2:
Range("AP59").Value = (Range("W60").Value) / 1000

'---> Para Di_T1:
Range("AQ59").Value = (Range("J67").Value - (2 * (Range("J68").Value))) / 1000
'---> Para e_T1:
Range("AR59").Value = (Range("J68").Value) / 1000

'---> Para Di_T2:
Range("AS59").Value = (Range("W67").Value - (2 * (Range("W68").Value))) / 1000
'---> Para e_T2:
Range("AT59").Value = (Range("W68").Value) / 1000

```

End Sub

---

Sub RUnidadZZ()

```

'Para la Disposición de ZigZag.
'Este procedimiento organiza los valores necesarios antes de ir a EES.

Worksheets(2).Select

'Llenar las casillas correspondientes:
'---> Para Q_T1:
Range("AJ157").Value = Range("BN59").Value
'---> Para Q_T2:
Range("AK157").Value = Range("BO59").Value

```

```

'---> Para Pi_T1:
Range("AL157").Value = (Range("AZ59").Value) / 100000000
'---> Para Pi_T2:
Range("AM157").Value = (Range("BA59").Value) / 100000000

'---> Para V_T1:
Range("AN157").Value = Range("BR59").Value

'---> Para Di_S:
Range("AO157").Value = (Range("J164").Value - (2 * (Range("J165").Value))) / 1000
'---> Para e_S:
Range("AP157").Value = (Range("J165").Value) / 1000

'---> Para Di_P:
Range("AQ157").Value = (Range("W164").Value - (2 * (Range("W165").Value))) / 1000
'---> Para e_P:
Range("AR157").Value = (Range("W165").Value) / 1000

'---> Para Di_T:
Range("AS157").Value = (Range("V179").Value - (2 * (Range("V180").Value))) / 1000
'---> Para e_T:
Range("AT157").Value = (Range("V180").Value) / 1000

```

End Sub

---

Sub RFinalesSubUnidadAnillos()

```

'Para la Disposición de Anillos.
'Este procedimiento organiza los resultados finales de la SubUnidad obtenidos de EES.

```

Worksheets(2).Select

'Llenar las casillas correspondientes:

'[TUBERÍAS SUBLATERALES]

```

Range("W75").Value = Range("CE68").Value '---> Pérdidas 1.
Range("W76").Value = Range("BA68").Value '---> Pérdidas admisibles 1.
Range("W77").Value = 10 '---> Presión inicial 1.
Range("W78").Value = Range("CF68").Value '---> Pérdidas 2.
Range("W79").Value = Range("BA68").Value '---> Pérdidas admisibles 2.
Range("W80").Value = 10 '---> Presión inicial 2.

```

'[TUBERÍAS LATERALES]

```

Range("W84").Value = Range("CG68").Value '---> Pérdidas 1.
Range("W85").Value = Range("BA68").Value '---> Pérdidas admisibles 1.
Range("W86").Value = Range("BD69").Value '---> Presión inicial 1.
Range("W87").Value = Range("CH68").Value '---> Pérdidas 2.
Range("W88").Value = Range("BA68").Value '---> Pérdidas admisibles 2.
Range("W89").Value = Range("BE69").Value '---> Presión inicial 2.

```

'[TUBERÍAS TERCIARIAS]

```

Range("W93").Value = Range("CI68").Value '---> Pérdidas 1.
Range("W94").Value = Range("CK68").Value '---> Pérdidas admisibles 1.
Range("W95").Value = Range("BG69").Value '---> Presión inicial 1.
Range("W96").Value = Range("CJ68").Value '---> Pérdidas 2.
Range("W97").Value = Range("CL68").Value '---> Pérdidas admisibles 2.
Range("W98").Value = Range("BH69").Value '---> Presión inicial 2.

```

'[FINAL]

```

Range("W102").Value = Range("AY68").Value '---> Variación de caudal 1.
Range("W103").Value = Range("AZ68").Value '---> Variación de caudal 2.

```

End Sub

---

Sub RFinialesSubUnidadDL()

'Para la Disposición de Doble Lateral.  
'Este procedimiento organiza los resultados finales de la SubUnidad obtenidos de EES.

Worksheets(2).Select

'Llenar las casillas correspondientes:

' [TUBERÍAS LATERALES]

Range("W108").Value = Range("BS63").Value '----> Pérdidas 1.  
Range("W109").Value = Range("BU63").Value '----> Pérdidas admisibles 1.  
Range("W110").Value = Range("AW64").Value '----> Presión inicial 1.  
Range("W111").Value = Range("BT63").Value '----> Pérdidas 2.  
Range("W112").Value = Range("BU63").Value '----> Pérdidas admisibles 2.  
Range("W113").Value = Range("AX64").Value '----> Presión inicial 2.

' [TUBERÍAS TERCIARIAS]

Range("W117").Value = Range("BV63").Value '----> Pérdidas 1.  
Range("W118").Value = Range("BX63").Value '----> Pérdidas admisibles 1.  
Range("W119").Value = Range("AZ64").Value '----> Presión inicial 1.  
Range("W120").Value = Range("BW63").Value '----> Pérdidas 2.  
Range("W121").Value = Range("BY63").Value '----> Pérdidas admisibles 2.  
Range("W122").Value = Range("BA64").Value '----> Presión inicial 2.

' [FINAL]

Range("W126").Value = Range("BZ63").Value '----> Variación de caudal 1.  
Range("W127").Value = Range("CA63").Value '----> Variación de caudal 2.

End Sub

---

Sub RFinialesSubUnidadZZ()

'Para la Disposición de ZigZag.  
'Este procedimiento organiza los resultados finales de la SubUnidad obtenidos de EES.

Worksheets(2).Select

'Llenar las casillas correspondientes:

' [TUBERÍAS LATERALES]

Range("W132").Value = Range("BS59").Value '----> Pérdidas 1.  
Range("W133").Value = Range("BU59").Value '----> Pérdidas admisibles 1.  
Range("W134").Value = Range("AW60").Value '----> Presión inicial 1.  
Range("W135").Value = Range("BT59").Value '----> Pérdidas 2.  
Range("W136").Value = Range("BU59").Value '----> Pérdidas admisibles 2.  
Range("W137").Value = Range("AX60").Value '----> Presión inicial 2.

' [TUBERÍAS TERCIARIAS]

Range("W141").Value = Range("BV59").Value '----> Pérdidas 1.  
Range("W142").Value = Range("BX59").Value '----> Pérdidas admisibles 1.  
Range("W143").Value = Range("AZ60").Value '----> Presión inicial 1.  
Range("W144").Value = Range("BW59").Value '----> Pérdidas 2.  
Range("W145").Value = Range("BY59").Value '----> Pérdidas admisibles 2.  
Range("W146").Value = Range("BA60").Value '----> Presión inicial 2.

' [FINAL]

Range("W150").Value = Range("BZ59").Value '----> Variación de caudal 1.  
Range("W151").Value = Range("CA59").Value '----> Variación de caudal 2.

End Sub

```

Sub RFinialesUnidadAnillos()

'Para la Disposición de Anillos.
'Este procedimiento organiza los resultados finales de la Unidad obtenidos de EES.

Worksheets(2).Select

'Llenar las casillas correspondientes:

'[TUBERÍAS SECUNDARIAS]
Range("W186").Value = Range("AW165").Value '---> Pérdidas.
Range("W187").Value = Range("BA166").Value '---> Presión inicial.
Range("W188").Value = Range("BD165").Value '---> Velocidad.

'[TUBERÍA PRIMARIA]
Range("W190").Value = Range("AX165").Value '---> Pérdidas.
Range("W191").Value = Range("BB166").Value '---> Presión inicial.
Range("W192").Value = Range("BF165").Value '---> Velocidad.

'[CABEZAL DE RIEGO]
Range("W194").Value = Range("AY166").Value '---> Pérdidas.
Range("W195").Value = Range("BC166").Value '---> Presión inicial.

'[TUBERÍA DE TRANSPORTE]
Range("W197").Value = Range("AZ166").Value '---> Pérdidas.
Range("W199").Value = Range("BG165").Value '---> Velocidad.

'[FINAL]
Range("V203").Value = Range("BH166").Value '---> Altura tanque de almacenamiento.

```

End Sub

---

```

Sub RFinialesUnidadDL()

'Para la Disposición de Doble Lateral.
'Este procedimiento organiza los resultados finales de la Unidad obtenidos de EES.

Worksheets(2).Select

'Llenar las casillas correspondientes:

'[TUBERÍAS SECUNDARIAS]
Range("W208").Value = Range("AU161").Value '---> Pérdidas.
Range("W209").Value = Range("AY162").Value '---> Presión inicial.
Range("W210").Value = Range("BB161").Value '---> Velocidad.

'[TUBERÍA PRIMARIA]
Range("W212").Value = Range("AV161").Value '---> Pérdidas.
Range("W213").Value = Range("AZ162").Value '---> Presión inicial.
Range("W214").Value = Range("BD161").Value '---> Velocidad.

'[CABEZAL DE RIEGO]
Range("W216").Value = Range("AW162").Value '---> Pérdidas.
Range("W217").Value = Range("BA162").Value '---> Presión inicial.

'[TUBERÍA DE TRANSPORTE]
Range("W219").Value = Range("AX162").Value '---> Pérdidas.
Range("W221").Value = Range("BE161").Value '---> Velocidad.

'[FINAL]
Range("V225").Value = Range("BF162").Value '---> Altura tanque de almacenamiento.

```

End Sub

---

```

Sub RFinalesUnidadZZ()

'Para la Disposición de ZigZag.
'Este procedimiento organiza los resultados finales de la Unidad obtenidos de EES.

Worksheets(2).Select

'Llenar las casillas correspondientes:

'[TUBERÍAS SECUNDARIAS]
Range("W230").Value = Range("AU157").Value '---> Pérdidas.
Range("W231").Value = Range("AY158").Value '---> Presión inicial.
Range("W232").Value = Range("BB157").Value '---> Velocidad.

'[TUBERÍA PRIMARIA]
Range("W234").Value = Range("AV157").Value '---> Pérdidas.
Range("W235").Value = Range("AZ158").Value '---> Presión inicial.
Range("W236").Value = Range("BD157").Value '---> Velocidad.

'[CABEZAL DE RIEGO]
Range("W238").Value = Range("AW158").Value '---> Pérdidas.
Range("W239").Value = Range("BA158").Value '---> Presión inicial.

'[TUBERÍA DE TRANSPORTE]
Range("W241").Value = Range("AX158").Value '---> Pérdidas.
Range("W243").Value = Range("BE157").Value '---> Velocidad.

'[FINAL]
Range("V247").Value = Range("BF158").Value '---> Altura tanque de almacenamiento.

End Sub

```

---

```

Sub RCompararDisposiciones()

'Este procedimiento llena las tablas necesarias para realizar la comparación de disposiciones.

Worksheets(8).Select
'[CANTIDAD TOTAL DE TUBERÍAS]
'---> Anillos:
Range("B3").Value = Worksheets(2).Range("BY69").Value + Worksheets(2).Range("BZ69").Value '---> Subl
Range("C3").Value = Worksheets(2).Range("CA69").Value + Worksheets(2).Range("BI166").Value + Workshe
Range("D3").Value = Worksheets(2).Range("BK166").Value '---> Transporte.

'---> Doble Lateral:
Range("B4").Value = Worksheets(2).Range("BP64").Value '---> Laterales.
Range("C4").Value = Worksheets(2).Range("BQ64").Value + Worksheets(2).Range("BG162").Value + Workshe
Range("D4").Value = Worksheets(2).Range("BI162").Value '---> Transporte.

'---> ZigZag:
Range("B5").Value = Worksheets(2).Range("BP60").Value '---> Laterales.
Range("C5").Value = Worksheets(2).Range("BQ60").Value + Worksheets(2).Range("BG158").Value + Workshe
Range("D5").Value = Worksheets(2).Range("BI158").Value '---> Transporte.

'[PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAUDAL]
'---> Anillos:
Range("B9").Value = Worksheets(2).Range("AY68").Value '---> SU1
With Worksheets(8).Label1
    .Caption = FormatNumber(CSng(Range("B9").Value), 6) & " %"
    .BackColor = RGB(97, 97, 97)
    .ForeColor = vbWhite
End With
Range("D9").Value = Worksheets(2).Range("AZ68").Value '---> SU2
'---> Doble Lateral:

```

```

Range("B10").Value = Worksheets(2).Range("BZ63").Value '---> SU1
With Worksheets(8).Label2
    .Caption = FormatNumber(CSng(Range("B10").Value), 6) & " §"
    .BackColor = RGB(97, 97, 97)
    .ForeColor = vbWhite
End With
Range("D10").Value = Worksheets(2).Range("CA63").Value '---> SU2
'---> ZigZag:
Range("B11").Value = Worksheets(2).Range("BZ59").Value '---> SU1
With Worksheets(8).Label3
    .Caption = FormatNumber(CSng(Range("B11").Value), 6) & " §"
    .BackColor = RGB(97, 97, 97)
    .ForeColor = vbWhite
End With
Range("D11").Value = Worksheets(2).Range("CA59").Value '---> SU2
'---> Total para comparar:
If Worksheets(2).Range("V35").Value < 0.01 Then '---> Si es AutoCompensante.
    Range("C9").Value = 0.0001: Range("C10").Value = 0.0001: Range("C11").Value = 0.0001
    Range("E9").Value = 0.0001: Range("E10").Value = 0.0001: Range("E11").Value = 0.0001
Else '---> Si es NO Autocompensante.
    Range("C9").Value = 10: Range("C10").Value = 10: Range("C11").Value = 10
    Range("E9").Value = 10: Range("E10").Value = 10: Range("E11").Value = 10
End If

'[ALTURA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO]
Range("B14").Value = Worksheets(2).Range("BH166").Value '---> Anillos.
Range("B15").Value = Worksheets(2).Range("BF162").Value '---> DL.
Range("B16").Value = Worksheets(2).Range("BF158").Value '---> ZZ.

'[PÉRDIDAS EN LA SUBUNIDAD]
'---> Anillos.
Range("B19").Value = Worksheets(2).Range("CE68").Value + Worksheets(2).Range("CG68").Value + Worksh
With Worksheets(8).Label4
    .Caption = FormatNumber(CSng(Range("B19").Value), 3) & " [mca]"
    .ForeColor = vbBlack
End With
'---> DL.
Range("B20").Value = Worksheets(2).Range("BS63").Value + Worksheets(2).Range("BV63").Value
With Worksheets(8).Label5
    .Caption = FormatNumber(CSng(Range("B20").Value), 3) & " [mca]"
    .ForeColor = vbBlack
End With
'---> ZZ.
Range("B21").Value = Worksheets(2).Range("BS59").Value + Worksheets(2).Range("BV59").Value
With Worksheets(8).Label6
    .Caption = FormatNumber(CSng(Range("B21").Value), 3) & " [mca]"
    .ForeColor = vbBlack
End With

```

End Sub

---

Sub R\_PreSolidWorks()

```

'Este procedimiento abre el Libro RESULTADOS_PRESOLIDWORKS, pega los modelos seleccionados y cierra

'Declarar las variables necesarias:
Dim TWB As Workbook
Dim WBSOLID As Workbook

'Abrir el Libro:
Workbooks.Open "C:\CARPETA_CGUANABANA\SOLIDWORKS\RESULTADOS_PRESOLIDWORKS.xlsm"

```

```

'Establecer las variables que representan cada libro:
Set TWB = Application.ThisWorkbook
Set WBSOLID = Application.Workbooks("RESULTADOS_PRESOLIDWORKS.xlsm")

'Pegar los Modelos de tubería seleccionados:
With WBSOLID.Worksheets(1)
.Range("P22").Value = TWB.Worksheets(2).ComboBox2.Value      '----> SubLaterales.
.Range("P23").Value = TWB.Worksheets(2).ComboBox4.Value      '----> Laterales.
.Range("P24").Value = TWB.Worksheets(2).ComboBox6.Value      '----> Terciarias.
.Range("P25").Value = TWB.Worksheets(2).ComboBox8.Value      '----> Secundaria.
.Range("P26").Value = TWB.Worksheets(2).ComboBox9.Value      '----> Primaria.
.Range("P27").Value = TWB.Worksheets(2).ComboBox10.Value     '----> Transporte.
End With

'Pegar la altura del tanque de almacenamiento:
WBSOLID.Worksheets(1).Range("X28").Value = TWB.Worksheets(2).Range("V203").Value

'Guardar cambios en el Libro RESULTADOS_PRESOLIDWORKS
WBSOLID.Save
'Cerrar este Libro:
TWB.Close False

End Sub

```

Figura J-18. Código VBA en Módulo “Llenar\_ResultadosEES”.

```

Sub CAgroP3()

'Este procedimiento calcula la parte final del Diseño Agronómico mediante EES.

'Declarar las variables necesarias para interactuar con EES:
Dim NumeroCanal As Integer
Dim RutaEES As String

'Declarar las variables para operar los rangos:
Dim Resultados As Range '----> Va a contener las celdas donde se van a pegar los resultados de EES.
Dim Celda As Range '----> Para ser usada en el For y permitir que se cambie el formato de celda.

'Establecer el valor por defecto a las variables de EES:
NumeroCanal = -1 '----> Valor inicial para más adelante comparar si se estableció correctamente el Canal
RutaEES = "C:\CARPETA_CGUANABANA\newEES_portable\newEES_portable\EES.exe" '----> Ruta del ejecutable del

'Control de Errores: Instrucción específica.
On Error Resume Next '----> Ignora la línea del error y esa variable toma el valor por defecto, y sig

'Copiar las celdas que contienen los datos de entrada para calcular en EES:
Worksheets(1).Range("AM84:A084").Select '----> Se selecciona: contienen el Dm_bulbo, Q_dot_emisor y
Selection.Copy '----> Se copia la selección.

'Abrir EES: (Nota: La función Shell permite abrir un documento tipo OLE desde cualquier ubicación.)
Shell_R = Shell(RutaEES, 1) '----> El argumento '1' = La ventana tiene foco y se restauran su tamaño y
'Si el programa se abre correctamente mediante Shell, la variable Shell_R guarda el valor del ID del pro
'Si el programa no se abre, la variable Shell_R guarda el 0 que devuelve Shell.

'Control de Errores: Sólo se ejecutan las Interacciones con EES si el programa se pudo abrir mediante S
If Shell_R <> "" Then '----> Si se logró ejecutar EES correctamente.

'Protocolo de DDE (Dynamic Data Exchange):
'[1. Inicialización]

```

```

'Abrir un Canal de Comunicación a EES y guardar el número de este Canal en la variable correspondiente
NumeroCanal = Application.DDEInitiate(app:="ees", topic:="")

'Control de Errores:
'Si se logra abrir el Canal de comunicación correctamente, el valor por defecto -1 debe cambiar.
If NumeroCanal <> -1 Then  '----> Si se creo el Canal correctamente.

    '[2. Interacción]
    '----> Instrucción: ENTER para seleccionar Continuar cuando abre el programa.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[ENTER]"
    '----> Instrucción: ABRIR el archivo EES.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Open C:\CARPETA_CGUANABANA\EES\1. DISEÑO AGRONÓMICO (Part
    '----> Instrucción: PEGAR en la Tabla paramétrica 1 los valores copiados previamente (Dm_bulbo,
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Paste Parametric 'Table 1' R1 C1: R1 C3]"
    '----> Instrucción: SOLUCIONAR la Tabla paramétrica 1.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[SOLVETABLE 'TABLE 1' Rows=1..8]"
    '----> Instrucción: COPIAR los valores de la Fila 1 (R1) Columna 4 (C4) hasta la Fila 1 (R1) Col
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[COPY ParametricTable 'Table 1' R1 C4:R1 C8]"

    'Para cambiar el formato de los valores que viene de EES de números exp(Ejm:1E+01) a texto:
    'Establecer las celdas donde se van a pegar los resultados:
    Set Resultados = Worksheets(1).Range("AP84:AT84")
    Resultados.NumberFormat = "@"  '----> Especificar que el formato de esas celdas sea tipo te

    '----> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
    ActiveSheet.Paste Destination:=Worksheets(1).Range("AP84:AT84")

    'Para cambiar el formato de los valores de texto a números con dos cifras decimales:
    Resultados.NumberFormat = "General" '----> Establecer formato de celdas General.
    'Ahora, se va a cambiar el formato de cada celda a tipo general a número con dos cifras
    For Each Celda In Resultados  '----> Para recorrer cada Celda especificada en la variable
        Celda.Value = FormatNumber(CSng(Celda.Value), 2)  '----> Establecer sólo dos cifras
        Celda.Value = CSng(Celda.Value)  '----> Establecer variable de tipo
    Next Celda

    '----> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
    DDEExecute NumeroCanal, "[QUIT]"

    '[3. Clausura]
    Application.DDETerminate NumeroCanal  '----> Finalizar/Cerrar el Canal de Comunicación DDE.

Else
    MsgBox "No se puede iniciar la comunicación con el software EES." & vbCrLf & "Inténtelo nuevame
End If

Else  '----> Si no se logró ejecutar EES.
    MsgBox "No se pudo abrir el software EES." & vbCrLf & "Por favor, asegúrese de que la carpeta '
End If

End Sub

Sub CHAnillosSubUnidad()

'Este procedimiento calcula la Subunidad del Diseño Hidráulico para la disposición de Anillos mediante

'Declarar las variables necesarias para interactuar con EES:
Dim NumeroCanal As Integer
Dim RutaEES As String

'Declarar las variables para operar los rangos:
Dim Resultados As Range '----> Va a contener las celdas donde se van a pegar los resultados de EES.
Dim Celda As Range '----> Para ser usada en el For y permitir que se cambie el formato de celda.

```

```

'Establecer el valor por defecto a las variables de EES:
NumeroCanal = -1 '---> Valor inicial para más adelante comparar si se estableció correctamente el Car
RutaEES = "C:\CARPETA_CGUANABANA\newEES_portable\newEES_portable\EES.exe" '---> Ruta del ejecutabl

'Control de Errores: Instrucción específica.
On Error Resume Next '---> Ignora la línea del error y esa variable toma el valor por defecto, y sig

'Copiar las celdas que contienen los datos de entrada para calcular en EES:
Worksheets(2).Range("AJ68:AX68").Select '---> Se selecciona.
Selection.Copy '---> Se copia la selección.

'Abrir EES: (Nota: La función Shell permite abrir un documento tipo OLE desde cualquier ubicación.)
Shell_R = Shell(RutaEES, 1) '---> El argumento '1' = La ventana tiene foco y se restauran su tamaño
'Si el programa se abre correctamente mediante Shell, la variable Shell_R guarda el valor del ID del pro
'Si el programa no se abre, la variable Shell_R guarda el 0 que devuelve Shell.

'Control de Errores: Sólo se ejecutan las Interacciones con EES si el programa se pudo abrir mediante S
If Shell_R <> "" Then '---> Si se logró ejecutar EES correctamente.

'Protocolo de DDE (Dynamic Data Exchange):
'[1. Inicialización]
'Abrir un Canal de Comunicación a EES y guardar el número de este Canal en la variable correspondiente:
NumeroCanal = Application.DDEInitiate(app:="ees", topic:="")

'Control de Errores:
'Si se logra abrir el Canal de comunicación correctamente, el valor por defecto -1 debe cambiar.
If NumeroCanal <> -1 Then '---> Si se creo el Canal correctamente.

'[2. Interacción]
'---> Instrucción: ENTER para seleccionar Continuar cuando abre el programa.
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[ENTER]"
'---> Instrucción: ABRIR el archivo EES.
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Open C:\CARPETA_CGUANABANA\EES\21. DISEÑO HIDRÁULICO (ANILLOS)
'---> Instrucción: PEGAR en la Tabla paramétrica 1 los valores copiados previamente.
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Paste Parametric 'Table 1' R1 C1: R1 C15]"
'---> Instrucción: SOLUCIONAR la Tabla paramétrica 1.
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[SOLVETABLE 'TABLE 1' Rows=1..55]"
'---> Instrucción: COPIAR los valores de la Fila 1 (R1) Columna 16 (C16) hasta la Fila 1 (R1) Colum
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[COPY ParametricTable 'Table 1' R1 C16:R1 C55]"

'Para cambiar el formato de los valores que viene de EES de números exp(Ejm:1E+01) a texto:
'Establecer las celdas donde se van a pegar los resultados:
Set Resultados = Worksheets(2).Range("AY68:CL68")
Resultados.NumberFormat = "@" '---> Especificar que el formato de esas celdas sea tipo texto.

'---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
ActiveSheet.Paste Destination:=Worksheets(2).Range("AY68:CL68")

'Para cambiar el formato de los valores de texto a números con cinco cifras decimales:
Resultados.NumberFormat = "General" '---> Establecer formato de celdas General.
'Ahora, se va a cambiar el formato de cada celda a tipo general a número con cinco cifras de
For Each Celda In Resultados '---> Para recorrer cada Celda especificada en la variable R
Celda.Value = FormatNumber(CSng(Celda.Value), 8) '---> Establecer sólo cinco cifras dec
Celda.Value = CSng(Celda.Value) '---> Establecer variable de tipo S
Next Celda

'---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
DDEExecute NumeroCanal, "[QUIT]"

'[3. Clausura]
Application.DDETerminate NumeroCanal '---> Finalizar/Cerrar el Canal de Comunicación DDE.

Else

```

```

    MsgBox "No se puede iniciar la comunicación con el software EES." & vbCrLf & "Inténtelo nuevamente <
End If

Else    '---> Si no se logró ejecutar EES.
    MsgBox "No se pudo abrir el software EES." & vbCrLf & "Por favor, asegúrese de que la carpeta 'CARPI
End If

End Sub

```

---

```

Sub CHAnillosUnidad()

    'Este procedimiento calcula la Unidad del Diseño Hidráulico para la disposición de Anillos mediante

    'Declarar las variables necesarias para interactuar con EES:
    Dim NumeroCanal As Integer
    Dim RutaEES As String

    'Declarar las variables para operar los rangos:
    Dim Resultados As Range '---> Va a contener las celdas donde se van a pegar los resultados de EES.
    Dim Celda As Range '---> Para ser usada en el For y permitir que se cambie el formato de celda.

    'Establecer el valor por defecto a las variables de EES:
    NumeroCanal = -1 '---> Valor inicial para más adelante comparar si se estableció correctamente e:
    RutaEES = "C:\CARPETA_CGUANABANA\newEES_portable\newEES_portable\EES.exe" '---> Ruta del ejec

    'Control de Errores: Instrucción específica.
    On Error Resume Next '---> Ignora la línea del error y esa variable toma el valor por defecto, y

    'Copiar las celdas que contienen los datos de entrada para calcular en EES:
    Worksheets(2).Range("AJ165:AV165").Select '---> Se selecciona.
    Selection.Copy '---> Se copia la selección.

    'Abrir EES: (Nota: La función Shell permite abrir un documento tipo OLE desde cualquier ubicación.)
    Shell_R = Shell(RutaEES, 1) '---> El argumento '1' = La ventana tiene foco y se restauran su tar
    'Si el programa se abre correctamente mediante Shell, la variable Shell_R guarda el valor del ID de:
    'Si el programa no se abre, la variable Shell_R guarda el 0 que devuelve Shell.

    'Control de Errores: Sólo se ejecutan las Interacciones con EES si el programa se pudo abrir mediant
    If Shell_R <> "" Then '---> Si se logró ejecutar EES correctamente.

        'Protocolo de DDE (Dynamic Data Exchange):
        '[1. Inicialización]
        'Abrir un Canal de Comunicación a EES y guardar el número de este Canal en la variable correspor
        NumeroCanal = Application.DDEInitiate(app:="ees", topic:="")

        'Control de Errores:
        'Si se logra abrir el Canal de comunicación correctamente, el valor por defecto -1 debe cambiar.
        If NumeroCanal <> -1 Then '---> Si se creo el Canal correctamente.

            '[2. Interacción]
            '---> Instrucción: ENTER para seleccionar Continuar cuando abre el programa.
            Application.DDEExecute NumeroCanal, "[ENTER]"
            '---> Instrucción: ABRIR el archivo EES.
            Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Open C:\CARPETA_CGUANABANA\EES\31. DISEÑO HIDRÁULICO <
            '---> Instrucción: PEGAR en la Tabla paramétrica 1 los valores copiados previamente.
            Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Paste Parametric 'Table 1' R1 C1: R1 C13]"
            '---> Instrucción: SOLUCIONAR la Tabla paramétrica 1.
            Application.DDEExecute NumeroCanal, "[SOLVETABLE 'TABLE 1' Rows=1..32]"
            '---> Instrucción: COPIAR los valores de la Fila 1 (R1) Columna 14 (C14) hasta la Fila 1 (R1
            Application.DDEExecute NumeroCanal, "[COPY ParametricTable 'Table 1' R1 C14:R1 C32]"

            'Para cambiar el formato de los valores que viene de EES de números exp(Ejm:1E+01) a tes
            'Establecer las celdas donde se van a pegar los resultados:

```

```

Set Resultados = Worksheets(2).Range("AW165:B0165")
Resultados.NumberFormat = "@" '---> Especificar que el formato de esas celdas sea tipo

'---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
ActiveSheet.Paste Destination:=Worksheets(2).Range("AW165:B0165")

'Para cambiar el formato de los valores de texto a números con cinco cifras decimales:
Resultados.NumberFormat = "General" '---> Establecer formato de celdas General.
'Ahora, se va a cambiar el formato de cada celda a tipo general a número con cinco
For Each Celda In Resultados '---> Para recorrer cada Celda especificada en la v
    Celda.Value = FormatNumber(CSng(Celda.Value), 8) '---> Establecer sólo cinco c
    Celda.Value = CSng(Celda.Value) '---> Establecer variable
Next Celda

'---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
DDEExecute NumeroCanal, "[QUIT]"

'[3. Clausura]
Application.DDETerminate NumeroCanal '---> Finalizar/Cerrar el Canal de Comunicación DDE

Else
    MsgBox "No se puede iniciar la comunicación con el software EES." & vbCrLf & "Inténtelo nuev
End If

Else '---> Si no se logró ejecutar EES.
    MsgBox "No se pudo abrir el software EES." & vbCrLf & "Por favor, asegúrese de que la carpe
End If

End Sub

```

---

```

Sub CHDLSubUnidad()

'Este procedimiento calcula la Subunidad del Diseño Hidráulico para la disposición de Doble Lateral

'Declarar las variables necesarias para interactuar con EES:
Dim NumeroCanal As Integer
Dim RutaEES As String

'Declarar las variables para operar los rangos:
Dim Resultados As Range '---> Va a contener las celdas donde se van a pegar los resultados de EES.
Dim Celda As Range '---> Para ser usada en el For y permitir que se cambie el formato de celda.

'Establecer el valor por defecto a las variables de EES:
NumeroCanal = -1 '---> Valor inicial para más adelante comparar si se estableció correctamente e
RutaEES = "C:\CARPETA_CGUANABANA\newEES_portable\newEES_portable\EES.exe" '---> Ruta del ejec

'Control de Errores: Instrucción específica.
On Error Resume Next '---> Ignora la línea del error y esa variable toma el valor por defecto, y

'Copiar las celdas que contienen los datos de entrada para calcular en EES:
Worksheets(2).Range("AJ63:AT63").Select '---> Se selecciona.
Selection.Copy '---> Se copia la selección.

'Abrir EES: (Nota: La función Shell permite abrir un documento tipo OLE desde cualquier ubicación.)
Shell_R = Shell(RutaEES, 1) '---> El argumento '1' = La ventana tiene foco y se restauran su ta
'Si el programa se abre correctamente mediante Shell, la variable Shell_R guarda el valor del ID de
'Si el programa no se abre, la variable Shell_R guarda el 0 que devuelve Shell.

'Control de Errores: Sólo se ejecutan las Interacciones con EES si el programa se pudo abrir median
If Shell_R <> "" Then '---> Si se logró ejecutar EES correctamente.

'Protocolo de DDE (Dynamic Data Exchange):

```

```

'[1. Inicialización]
'Abrir un Canal de Comunicación a EES y guardar el número de este Canal en la variable correspo
NumeroCanal = Application.DDEInitiate(app:="ees", topic: "")

'Control de Errores:
'Si se logra abrir el Canal de comunicación correctamente, el valor por defecto -1 debe cambiar
If NumeroCanal <> -1 Then '----> Si se creo el Canal correctamente.

    '[2. Interacción]
    '----> Instrucción: ENTER para seleccionar Continuar cuando abre el programa.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[ENTER]"
    '----> Instrucción: ABRIR el archivo EES.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Open C:\CARPETA_CGUANABANA\EES\22. DISEÑO HIDRÁULICO
    '----> Instrucción: PEGAR en la Tabla paramétrica 1 los valores copiados previamente.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Paste Parametric 'Table 1' R1 C1: R1 C11]"
    '----> Instrucción: SOLUCIONAR la Tabla paramétrica 1.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[SOLVETABLE 'TABLE 1' Rows=1..44]"
    '----> Instrucción: COPIAR los valores de la Fila 1 (R1) Columna 12 (C12) hasta la Fila 1 (R
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[COPY ParametricTable 'Table 1' R1 C12:R1 C44]"

        'Para cambiar el formato de los valores que viene de EES de números exp(Ejm:1E+01) a te
        'Establecer las celdas donde se van a pegar los resultados:
        Set Resultados = Worksheets(2).Range("AU63:CA63")
        Resultados.NumberFormat = "@" '----> Especificar que el formato de esas celdas sea tip

    '----> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
    ActiveSheet.Paste Destination:=Worksheets(2).Range("AU63:CA63")

        'Para cambiar el formato de los valores de texto a números con cinco cifras decimales:
        Resultados.NumberFormat = "General" '----> Establecer formato de celdas General.
        'Ahora, se va a cambiar el formato de cada celda a tipo general a número con cinco
        For Each Celda In Resultados '----> Para recorrer cada Celda especificada en la v
            Celda.Value = FormatNumber(CSng(Celda.Value), 8) '----> Establecer sólo cinco c
            Celda.Value = CSng(Celda.Value) '----> Establecer variable
        Next Celda

    '----> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
    DDEExecute NumeroCanal, "[QUIT]"

    '[3. Clausura]
    Application.DDETerminate NumeroCanal '----> Finalizar/Cerrar el Canal de Comunicación DDE.

Else
    MsgBox "No se puede iniciar la comunicación con el software EES." & vbCrLf & "Inténtelo nuev
End If

Else '----> Si no se logró ejecutar EES.
    MsgBox "No se pudo abrir el software EES." & vbCrLf & "Por favor, asegúrese de que la carpet
End If

End Sub

Sub CHDLUnidad()

'Este procedimiento calcula la Unidad del Diseño Hidráulico para la disposición de Doble Lateral EES

'Declarar las variables necesarias para interactuar con EES:
Dim NumeroCanal As Integer
Dim RutaEES As String

'Declarar las variables para operar los rangos:
Dim Resultados As Range '----> Va a contener las celdas donde se van a pegar los resultados de EES.
Dim Celda As Range '----> Para ser usada en el For y permitir que se cambie el formato de celda.

```

```

'Establecer el valor por defecto a las variables de EES:
NumeroCanal = -1 '---> Valor inicial para más adelante comparar si se estableció correctamente e
RutaEES = "C:\CARPETA_CGUANABANA\newEES_portable\newEES_portable\EES.exe" '---> Ruta del ejec

'Control de Errores: Instrucción específica.
On Error Resume Next '---> Ignora la línea del error y esa variable toma el valor por defecto, y

'Copiar las celdas que contienen los datos de entrada para calcular en EES:
Worksheets(2).Range("AJ161:AT161").Select '---> Se selecciona.
Selection.Copy '---> Se copia la selección.

'Abrir EES: (Nota: La función Shell permite abrir un documento tipo OLE desde cualquier ubicación.)
Shell_R = Shell(RutaEES, 1) '---> El argumento '1' = La ventana tiene foco y se restauran su tar
'Si el programa se abre correctamente mediante Shell, la variable Shell_R guarda el valor del ID de:
'Si el programa no se abre, la variable Shell_R guarda el 0 que devuelve Shell.

'Control de Errores: Sólo se ejecutan las Interacciones con EES si el programa se pudo abrir median
If Shell_R <> "" Then '---> Si se logró ejecutar EES correctamente.

'Protocolo de DDE (Dynamic Data Exchange):
'[1. Inicialización]
'Abrir un Canal de Comunicación a EES y guardar el número de este Canal en la variable correspon
NumeroCanal = Application.DDEInitiate(app:"ees", topic: "")

'Control de Errores:
'Si se logra abrir el Canal de comunicación correctamente, el valor por defecto -1 debe cambiar
If NumeroCanal <> -1 Then '---> Si se creó el Canal correctamente.

'[2. Interacción]
'---> Instrucción: ENTER para seleccionar Continuar cuando abre el programa.
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[ENTER]"
'---> Instrucción: ABRIR el archivo EES.
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Open C:\CARPETA_CGUANABANA\EES\32. DISEÑO HIDRÁULICO
'---> Instrucción: PEGAR en la Tabla paramétrica 1 los valores copiados previamente.
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Paste Parametric 'Table 1' R1 C1: R1 C11]"
'---> Instrucción: SOLUCIONAR la Tabla paramétrica 1.
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[SOLVETABLE 'TABLE 1' Rows=1..30]"
'---> Instrucción: COPIAR los valores de la Fila 1 (R1) Columna 12 (C12) hasta la Fila 1 (R1
Application.DDEExecute NumeroCanal, "[COPY ParametricTable 'Table 1' R1 C12:R1 C30]"

'Para cambiar el formato de los valores que viene de EES de números exp(Ejm:1E+01) a tex
'Establecer las celdas donde se van a pegar los resultados:
Set Resultados = Worksheets(2).Range("AU161:BM161")
Resultados.NumberFormat = "@" '---> Especificar que el formato de esas celdas sea tipo

'---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
ActiveSheet.Paste Destination:=Worksheets(2).Range("AU161:BM161")

'Para cambiar el formato de los valores de texto a números con cinco cifras decimales:
Resultados.NumberFormat = "General" '---> Establecer formato de celdas General.
'Ahora, se va a cambiar el formato de cada celda a tipo general a número con cinco c
For Each Celda In Resultados '---> Para recorrer cada Celda especificada en la v
Celda.Value = FormatNumber(CSng(Celda.Value), 8) '---> Establecer sólo cinco ci
Celda.Value = CSng(Celda.Value) '---> Establecer variable c
Next Celda

'---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
DDEExecute NumeroCanal, "[QUIT]"

'[3. Clausura]
Application.DDETerminate NumeroCanal '---> Finalizar/Cerrar el Canal de Comunicación DDE.

```

```

Else
    MsgBox "No se puede iniciar la comunicación con el software EES." & vbCrLf & "Inténtelo nue
End If

Else
    '----> Si no se logró ejecutar EES.
    MsgBox "No se pudo abrir el software EES." & vbCrLf & "Por favor, asegúrese de que la carpe
End If

End Sub

```

---

```

Sub CHZZSubUnidad()

```

```

'Este procedimiento calcula la Subunidad del Diseño Hidráulico para la disposición de ZigZag median

'Declarar las variables necesarias para interactuar con EES:
Dim NumeroCanal As Integer
Dim RutaEES As String

'Declarar las variables para operar los rangos:
Dim Resultados As Range '----> Va a contener las celdas donde se van a pegar los resultados de EES.
Dim Celda As Range '----> Para ser usada en el For y permitir que se cambie el formato de celda.

'Establecer el valor por defecto a las variables de EES:
NumeroCanal = -1 '----> Valor inicial para más adelante comparar si se estableció correctamente e
RutaEES = "C:\CARPETA_CGUANABANA\newEES_portable\newEES_portable\EES.exe" '----> Ruta del ejec

'Control de Errores: Instrucción específica.
On Error Resume Next '----> Ignora la línea del error y esa variable toma el valor por defecto, y

'Copiar las celdas que contienen los datos de entrada para calcular en EES:
Worksheets(2).Range("AJ59:AT59").Select '----> Se selecciona.
Selection.Copy '----> Se copia la selección.

'Abrir EES: (Nota: La función Shell permite abrir un documento tipo OLE desde cualquier ubicación.)
Shell_R = Shell(RutaEES, 1) '----> El argumento '1' = La ventana tiene foco y se restauran su ta
'Si el programa se abre correctamente mediante Shell, la variable Shell_R guarda el valor del ID de
'Si el programa no se abre, la variable Shell_R guarda el 0 que devuelve Shell.

'Control de Errores: Sólo se ejecutan las Interacciones con EES si el programa se pudo abrir median
If Shell_R <> "" Then '----> Si se logró ejecutar EES correctamente.

    'Protocolo de DDE (Dynamic Data Exchange):
    '[1. Inicialización]
    'Abrir un Canal de Comunicación a EES y guardar el número de este Canal en la variable correspo
    NumeroCanal = Application.DDEInitiate(app:="ees", topic:="")

    'Control de Errores:
    'Si se logra abrir el Canal de comunicación correctamente, el valor por defecto -1 debe cambiar
    If NumeroCanal <> -1 Then '----> Si se creó el Canal correctamente.

        '[2. Interacción]
        '----> Instrucción: ENTER para seleccionar Continuar cuando abre el programa.
        Application.DDEExecute NumeroCanal, "[ENTER]"
        '----> Instrucción: ABRIR el archivo EES.
        Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Open C:\CARPETA_CGUANABANA\EES\23. DISEÑO HIDRÁULICO
        '----> Instrucción: PEGAR en la Tabla paramétrica 1 los valores copiados previamente.
        Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Paste Parametric 'Table 1' R1 C1: R1 C11]"
        '----> Instrucción: SOLUCIONAR la Tabla paramétrica 1.
        Application.DDEExecute NumeroCanal, "[SOLVETABLE 'TABLE 1' Rows=1..44]"
        '----> Instrucción: COPIAR los valores de la Fila 1 (R1) Columna 12 (C12) hasta la Fila 1 (R
        Application.DDEExecute NumeroCanal, "[COPY ParametricTable 'Table 1' R1 C12:R1 C44]"

```

```

'Para cambiar el formato de los valores que viene de EES de números exp(Ejm:1E+01) a te:
'Establecer las celdas donde se van a pegar los resultados:
Set Resultados = Worksheets(2).Range("AU59:CA59")
Resultados.NumberFormat = "@" '---> Especificar que el formato de esas celdas sea tipo

'---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
ActiveSheet.Paste Destination:=Worksheets(2).Range("AU59:CA59")

'Para cambiar el formato de los valores de texto a números con cinco cifras decimales:
Resultados.NumberFormat = "General" '---> Establecer formato de celdas General.
'Ahora, se va a cambiar el formato de cada celda a tipo general a número con cinco c
For Each Celda In Resultados '---> Para recorrer cada Celda especificada en la v
Celda.Value = FormatNumber(CSng(Celda.Value), 8) '---> Establecer sólo cinco c
Celda.Value = CSng(Celda.Value) '---> Establecer variable c
Next Celda

'---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
DDEExecute NumeroCanal, "[QUIT]"

'[3. Clausura]
Application.DDETerminate NumeroCanal '---> Finalizar/Cerrar el Canal de Comunicación DDE

Else
MsgBox "No se puede iniciar la comunicación con el software EES." & vbCrLf & "Inténtelo nuev
End If

Else '---> Si no se logró ejecutar EES.
MsgBox "No se pudo abrir el software EES." & vbCrLf & "Por favor, asegúrese de que la carpet
End If

End Sub

```

---

```

Sub CHZZUnidad()

'Este procedimiento calcula la Unidad del Diseño Hidráulico para la disposición de ZigZag EES.

'Declarar las variables necesarias para interactuar con EES:
Dim NumeroCanal As Integer
Dim RutaEES As String

'Declarar las variables para operar los rangos:
Dim Resultados As Range '---> Va a contener las celdas donde se van a pegar los resultados de EES.
Dim Celda As Range '---> Para ser usada en el For y permitir que se cambie el formato de celda.

'Establecer el valor por defecto a las variables de EES:
NumeroCanal = -1 '---> Valor inicial para más adelante comparar si se estableció correctamente e
RutaEES = "C:\CARPETA_CGUANABANA\newEES_portable\newEES_portable\EES.exe" '---> Ruta del ejec

'Control de Errores: Instrucción específica.
On Error Resume Next '---> Ignora la línea del error y esa variable toma el valor por defecto, y

'Copiar las celdas que contienen los datos de entrada para calcular en EES:
Worksheets(2).Range("AJ157:AT157").Select '---> Se selecciona.
Selection.Copy '---> Se copia la selección.

'Abrir EES: (Nota: La función Shell permite abrir un documento tipo OLE desde cualquier ubicación.)
Shell_R = Shell(RutaEES, 1) '---> El argumento '1' = La ventana tiene foco y se restauran su ta
'Si el programa se abre correctamente mediante Shell, la variable Shell_R guarda el valor del ID de
'Si el programa no se abre, la variable Shell_R guarda el 0 que devuelve Shell.

'Control de Errores: Sólo se ejecutan las Interacciones con EES si el programa se pudo abrir median
If Shell_R <> "" Then '---> Si se logró ejecutar EES correctamente.

```

```

'Protocolo de DDE (Dynamic Data Exchange):
'[1. Inicialización]
'Abrir un Canal de Comunicación a EES y guardar el número de este Canal en la variable correspor
NumeroCanal = Application.DDEInitiate(app="ees", topic="")

'Control de Errores:
'Si se logra abrir el Canal de comunicación correctamente, el valor por defecto -1 debe cambiar.
If NumeroCanal <> -1 Then '---> Si se creo el Canal correctamente.

    '[2. Interacción]
    '---> Instrucción: ENTER para seleccionar Continuar cuando abre el programa.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[ENTER]"
    '---> Instrucción: ABRIR el archivo EES.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Open C:\CARPETA_CGUANABANA\EES\33. DISEÑO HIDRÁULICO ]"
    '---> Instrucción: PEGAR en la Tabla paramétrica 1 los valores copiados previamente.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[Paste Parametric 'Table 1' R1 C1: R1 C11]"
    '---> Instrucción: SOLUCIONAR la Tabla paramétrica 1.
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[SOLVETABLE 'TABLE 1' Rows=1..30]"
    '---> Instrucción: COPIAR los valores de la Fila 1 (R1) Columna 12 (C12) hasta la Fila 1 (R1)
    Application.DDEExecute NumeroCanal, "[COPY ParametricTable 'Table 1' R1 C12:R1 C30]"

    'Para cambiar el formato de los valores que viene de EES de números exp(Ejm:1E+01) a tex
    'Establecer las celdas donde se van a pegar los resultados:
    Set Resultados = Worksheets(2).Range("AU157:BM157")
    Resultados.NumberFormat = "@" '---> Especificar que el formato de esas celdas sea tip

    '---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
    ActiveSheet.Paste Destination:=Worksheets(2).Range("AU157:BM157")

    'Para cambiar el formato de los valores de texto a números con cinco cifras decimales:
    Resultados.NumberFormat = "General" '---> Establecer formato de celdas General.
    'Ahora, se va a cambiar el formato de cada celda a tipo general a número con cinco c
    For Each Celda In Resultados '---> Para recorrer cada Celda especificada en la va
        Celda.Value = FormatNumber(CSng(Celda.Value), 8) '---> Establecer sólo cinco ci
        Celda.Value = CSng(Celda.Value) '---> Establecer variable c
    Next Celda

    '---> Instrucción: PEGAR resultados desde EES hacia Excel.
    DDEExecute NumeroCanal, "[QUIT]"

    '[3. Clausura]
    Application.DDETerminate NumeroCanal '---> Finalizar/Cerrar el Canal de Comunicación DDE.

Else
    MsgBox "No se puede iniciar la comunicación con el software EES." & vbCrLf & "Inténtelo nuev
End If

Else '---> Si no se logró ejecutar EES.
    MsgBox "No se pudo abrir el software EES." & vbCrLf & "Por favor, asegúrese de que la carpet
End If

End Sub

```

## J.1.2. Libro: “RESULTADOS\_PRESOLIDWORKS”

Figura J-19. Explorador de Proyectos.

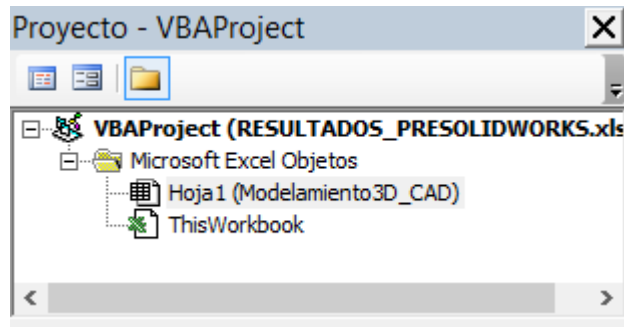


Figura J-20. Código VBA en Hoja 1 “Modelamiento3D\_CAD”.

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
    '[BOTÓN: GENERAR MODELO 3D CAD]  
  
    'Declarar las variables necesarias para interactuar con SolidWorks:  
    Dim swApp As SldWorks.SldWorks  
    Dim BooleanMacro As Boolean  
  
    'Establecer el valor de las variables:  
    Set swApp = CreateObject("SldWorks.Application.26")    '---> Se abre una nueva instancia de SolidWorks.  
  
    'Instrucciones a SolidWorks:  
    swApp.Visible = True    '---> La aplicación se ejecuta de forma visible.  
    'Mensaje de Bienvenida:  
    swApp.SendMsgToUser ";Bienvenido a SolidWorks! En breve se abrirá el asistente de Generación Modelo 3D CAD"  
  
    'Ejecutar la Macro correspondiente en SolidWorks:  
    BooleanMacro = swApp.RunMacro("C:\CARPETA_CGUANABANA\SOLIDWORKS\Asistente_Modelo3D.swp", _  
    "Asistente_Modelo3D", "Inicio")  
  
End Sub
```

Figura J-21. Código VBA en *ThisWorkbook*.

```
Private Sub Workbook_BeforeClose(Cancel As Boolean)  
    '[ANTES DE CERRAR]  
    '---> Guardar Cambios:  
    ThisWorkbook.Close True  
End Sub  


---

Private Sub Workbook_Open()  
    '[EVENTO: AL ABRIR]  
    'Ocultar Cinta de Opciones, Barra de Formulas y Encabezados:  
    Application.ExecuteExcel4Macro "SHOW.TOOLBAR(""Ribbon"",true)"  
    Application.DisplayFormulaBar = True  
    ActiveWindow.DisplayHeadings = True  
    'Cambiar el foco del usuario:  
    Range("D15").Select  
End Sub
```

## J.1. Macros en SolidWorks

Todos los componentes del libro se listan en el *Explorador de proyectos*: Para el desarrollo de la aplicación

Figura J-22. Explorador de Proyectos.

Figura J-22. Explorador de Proyectos.

Figura J-22. Explorador de Proyectos.

Figura J-22. Explorador de Proyectos.

## Anexo K. Códigos Engineering Equation Solver (EES) para los cálculos agronómicos e hidráulicos

A continuación, se presentan los códigos EES de los programas usados para realizar los cálculos agronómicos e hidráulicos en el sistema de riego por goteo.

### K.1. Cálculos en el diseño agronómico.

Figura K-1. Código EES - Ecuaciones en el diseño agronómico.

```
"! -----| DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO |-----"
"! -----| SECCIÓN UNO : DISEÑO AGRONÓMICO |-----"

"A continuación, se presentan los pasos para el cálculo de las variables agronómicas (con sus respectivos parámetros)
relevantes en el diseño del sistema de riego por goteo."

"!----- NECESIDADES DE RIEGO -----"
-----"

"! -----> (PRIMERO) - NECESIDADES NETAS DE RIEGO MÁXIMAS (N_n)"

"! (1) Consideraciones iniciales:"
"El cálculo de las Necesidades Netas se realiza a partir de los diferentes datos de precipitación y evapotranspiración, para los
doce meses del año y para los tres primeros años de desarrollo del cultivo."
"Debido a esto, es necesario tabular y organizar todos los resultados, para comparar el máximo valor obtenido y tomarlo
como guía confiable de las necesidades máximas que necesitará el cultivo."
"Lo expresado anteriormente, se realizó mediante Tablas de Excel (Revisar Libro) siendo las máximas Necesidades Netas de
Riego para la guanábana las correspondientes al MES DE ENERO DEL 3 AÑO."
"Los datos presentados a continuación para el N_n corresponden a los de esa franja de tiempo."

" Las Necesidades netas de riego (N_n) se determinan a partir de la siguiente ecuación:"
N_n = ET_c - P_e "[mm/día]"
"Siendo:"

"! (2) Precipitación efectiva (P_e):"
"Precipitación efectiva a partir de los valores de la Precipitación mensual confiable al 70% de probabilidad:"
P_e = 1,0523 [mm/día] {Valor obtenido para el mes de Enero.} { IDEAM }

"! (3) Evapotranspiración del Cultivo (ET_c):"
ET_c = ET_0*K_c "[mm/día]"
"Donde:"
ET_0 = 4,1742 [mm/día] "----> Evapotranspiración de referencia." {Valor obtenido para el mes de Enero.} { IDEAM }
K_c = 0,89 "----> Coeficiente adimensional del Cultivo." {Valor obtenido para el año 3.} { CORPOICA }

"! -----> (SEGUNDO) - NECESIDADES TOTALES DE RIEGO (N_b)"
"Las Necesidades totales de riego (N_b) son el volumen de agua necesario que debe suministrarse diariamente a la planta."
"Se expresa como:"
N_b = 100 * ( N_n / E_a ) "[mm/día]"
```

"! (1) Eficiencia de aplicación (E\_a):"

"Estimada en función del Sistema de Riego a utilizar:"

$E_a = 90$  [%] "----> Eficiencia de aplicación del sistema." {Valor para Riego por Goteo.} {FAO}

"!----- DOSIS DE RIEGO -----"

"! -----> (PRIMERO) - DOSIS NETA DE RIEGO (D\_n)"

"La dosis corresponde a la Necesidad diaria total acumulada que debe suministrarse a la planta entre cada intervalo de riego."

$D_n = DPM * ( AU / 100 )$  "[mm]"

"! (1) Déficit permisible de manejo (DPM):"

"Nivel de humedad a partir del cual las raíces tienen muchas dificultades para extraer el agua del suelo."

"Aunque existen tablas muy completas con valores de DPM para un gran número de cultivos, no fue posible encontrar una referencia correspondiente a la Guanábana."

"Debido a lo anterior, se establece el valor a partir de criterios expuestos por la FAO:"

$DPM = 30$  [%] "----> Según el cultivo: 50% Tolerantes a la sequía y 30% Menos tolerantes o mayor valor económico." {Valor seleccionado debido a las características de la guanábana.} {FAO}

"! (2) Agua utilizable por el cultivo (AU):"

"Depende principalmente de la textura del suelo:"

"Aunque la recomendación es realizar un Estudio de Suelos enfocado a las propiedades físicas necesarias para este cálculo en el área del cultivo real, no fue posible y se decide trabajar con valores de referencia:"

$AU = 10 * ( CC - PMP ) * d_a * P_r$  "[mm]"

"Donde:"

$CC = 14$  [%theta\_g] "----> Capacidad de campo." {Valor para suelo Franco-arenoso.} {FAO}

$PMP = 6$  [%theta\_g] "----> Punto de marchitez permanente." {Valor para suelo Franco-arenoso.} {FAO}

$d_a = 1,5$  [g/cm<sup>3</sup>] "----> Densidad aparente." {Valor para suelo Franco-arenoso.} {FAO}

$P_r = 0,8$  [m] "----> Profundidad radicular efectiva del cultivo." {Valor aproximado basado en la experiencia.} {ENTREVISTA PROPIETARIO DEL TERRENO} {NOTA: A partir de Información de referencia de la FAO se confirma que la profundidad efectiva de las raíces de varios arboles frutales (como es el caso de la Guanábana) está entre los 80 a 200 [cm].}

"! -----> (SEGUNDO): DOSIS BRUTA DE RIEGO (D\_b)"

"Cantidad de agua ligeramente superior a la necesaria, valor incrementado por seguridad debido a diferentes factores de pérdidas."

$D_b = 100 * ( D_n.ajust / E_a )$  "[mm]"

"! (1) Dosis neta ajustada (D\_n.ajust):"

$D_n.ajust = I_{aprox} * N_n$

"Donde:"

$I_{aprox} = 8$  [días] "----> Máximo intervalo entre riegos aproximado (modificado según condiciones y número de regantes)."

"Pero, antes de realizar la aproximación en el Intervalo entre riegos, debe calcularse:"

$I = D_n / N_n$  "[días]"

"ADICIONAL: Intervalo aproximado recomendado:"

$I_{aproxrecomendado} = ( Valor\_Entero ) * I_{empirico}$

$Valor\_Entero = trunc( I / I_{empirico} )$  "----> Función para redondear al valor entero menor."

$I_{empirico} = 4$  [días] "----> Intervalo entre riegos actual empleado empíricamente por el propietario del terreno" {Valor aproximado basado en la experiencia.} {ENTREVISTA PROPIETARIO DEL TERRENO}

"!----- VARIABLES GENERALES DE RIEGO -----"

"! -----> (PRIMERO) - NÚMERO DE EMISORES POR PLANTA (n\_e)"

"Número de emisores mínimo por planta:"

$n_e = Superf\_mojadaxplanta / Superf\_mojadaxemisor$  "[goteros]"

"! (1) Superficie mojada por planta (Superf\_mojadaxplanta):"

"Área mojada por planta, expresada como:"

$Superf\_mojadaxplanta = ( P * Superf\_ocupxplanta ) / 100$  "[m<sup>2</sup>]"

"Donde:"

P = 33 [%] "----> Porcentaje de suelo mojado." {Valor recomendado para Cultivos Leñosos (Como es el caso del árbol de guanábana).} { UNIVERSITAT JAUME I }

Superf\_ocupxplanta = ( pi / 4 ) \* D\_planta^2 "[m^2] ----> Área total." {Tomando marco de plantación circular.} { MEDICIÓN }

D\_planta = 3 [m] "----> Diámetro de las raíces en el marco de plantación respecto de la raíz del árbol." {Valor aproximado basado en la experiencia.} { ENTREVISTA PROPIETARIO DEL TERRENO }

"! (2) Superficie mojada por emisor (Superf\_mojadaxemisor):"  
 "Área mojada por emisor, expresada como:"  
 Superf\_mojadaxemisor = ( pi / 4 ) \* Dm\_bulbo^2 "[m^2]"  
 "NOTA: Las estimaciones de las dimensiones del bulbo húmedo pueden realizarse a partir de: Tablas, fórmulas o medida experimental. Aunque esto último sea lo mejor, es muy tedioso y costoso."  
 "Debido a lo anterior, se prefiere trabajar con las fórmulas más comunes propuestas por Karmeli, Peri y Todes para el cálculo del diámetro mojado del bulbo en función de la textura del suelo."  
 Dm\_bulbo = 0,6 + ( 0,1 \* Q\_dot\_emisor ) "[m] ----> Diámetro mojado del bulbo para suelo de textura media (Franco)." {Se toma suelo Franco-arenoso como principal debido a lo mostrado en el Estudio de suelo.} { UNIVERSITAT JAUME I }

Q\_dot\_emisor = 4 [L/h] "----> Caudal del emisor." {Tomando en primera medida el valor más común usado en el Riego por Goteo.} { CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS }

"! -----> (SEGUNDO) - TIEMPO DE APLICACIÓN (t\_a)"  
 "El tiempo que deberá estar regando cada gotero para poder aplicar la Dosis bruta en Sistemas de Riego por Goteo."  
 $t_a = ( D_b * Superf_mojadaxplanta ) / ( N_{emisores} * Q_{dot\_emisor} )$  "[h] ----> Tiempo mínimo de aplicación."  
 "Donde:"  
 "El número de emisores recomendado a partir de las siguientes condiciones: (1) Mínimo 4 emisores si el cálculo da menor a 4; (2) Si el cálculo da mayor a 4, redondear al entero mayor."  
 A\_n = n\_e  
 B\_n = 4  
 X\_n = 4  
 Y\_n = 4  
 Z\_n = ceil(n\_e) "----> Función para redondear al entero mayor."  
 N\_emisores\_recomendado = if(A\_n;B\_n;X\_n;Y\_n;Z\_n) "----> Número de emisores recomendado." {Valor para asegurar la colocación de mínimo cuatro goteros en cada árbol.} { RECOMENDACIÓN PARA EL CORRECTO DESARROLLO RADICULAR }

N\_emisores = 4 "----> Número de goteros por planta."

"! -----> (TERCERO) - DISPOSICIÓN DE LOS EMISORES (Dist\_emisores)"  
 "La distancia entre emisores (goteros) consecutivos se expresa como:"  
 $Dist_{emisores} = Rm_{bulbo} * ( 2 - ( S / 100 ) )$  "[m]" { TÉCNICAS DE RIEGO - Jose Luis Fuentes }

"Donde:"  
 Rm\_bulbo = Dm\_bulbo / 2 "[m] ----> Radio mojado del bulbo."  
 S = 30 [%] "----> Traslape expresado en tanto por ciento." {Teniendo en cuenta que el traslape debe estar comprendido entre el 15% y 30%.} { TÉCNICAS DE RIEGO - Jose Luis Fuentes }

"!-----> | EXTRA | INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA ENTREVISTA -----> "  
 "Las cantidades usadas por el propietario del terreno están soportadas en la experiencia:"  
 D\_bruta.entrevista = 37,85 [mm]  
 I\_entrevista = 4 [días]

Figura K-2. Código EES - Resultados en el diseño agronómico.

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

AU = 96 [mm]

Bn = 4

An = 2,97

CC = 14 [%theta.]

$D_{\text{emisores}} = 0,85 \text{ [m]}$   
 $DPM = 30 \text{ [%]}$   
 $D_b = 23,67 \text{ [mm]}$   
 $D_n = 28,8 \text{ [mm]}$   
 $D_{\text{planta}} = 3 \text{ [m]}$   
 $ET_c = 3,715 \text{ [mm/día]}$   
 $I = 10,82 \text{ [días]}$   
 $I_{\text{aproxrecomendado}} = 8 \text{ [días]}$   
 $I_{\text{entrevista}} = 4 \text{ [días]}$   
 $N_b = 2,959 \text{ [mm/día]}$   
 $N_{\text{emisores}} = 4 \text{ [goteros]}$   
 $N_n = 2,663 \text{ [mm/día]}$   
 $PMP = 6 \text{ [%}\theta_g\text{]}$   
 $P_r = 0,8 \text{ [m]}$   
 $R_{\text{bulbo}} = 0,5 \text{ [m]}$   
 $Superf_{\text{mojadaxemisor}} = 0,7854 \text{ [m}^2\text{]}$   
 $Superf_{\text{ocupxplanta}} = 7,069 \text{ [m}^2\text{]}$   
 $Valor_{\text{Entero}} = 2 \text{ [días]}$   
 $Y_n = 4$

$D_{\text{bulbo}} = 1 \text{ [m]}$   
 $d_a = 1,5 \text{ [g/cm}^3\text{]}$   
 $D_{\text{bruta.entrevista}} = 37,85 \text{ [mm]}$   
 $D_{n.\text{ajust}} = 21,3019 \text{ [mm]}$   
 $ET_0 = 4,174 \text{ [mm/día]}$   
 $E_a = 90 \text{ [%]}$   
 $I_{\text{aprox}} = 8 \text{ [días]}$   
 $I_{\text{empirico}} = 4 \text{ [días]}$   
 $K_c = 0,89$   
 $n_e = 2,97 \text{ [goteros]}$   
 $N_{\text{emisores.recomendado}} = 4 \text{ [goteros]}$   
 $P = 33 \text{ [%]}$   
 $P_e = 1,052 \text{ [mm/día]}$   
 $\dot{Q}_{\text{emisor}} = 4 \text{ [L/h]}$   
 $S = 30 \text{ [%]}$   
 $Superf_{\text{mojadaxplanta}} = 2,333 \text{ [m}^2\text{]}$   
 $t_a = 3,451 \text{ [h]}$   
 $X_n = 4$   
 $Z_n = 3$

## K.2. Cálculos en el diseño hidráulico.

Figura K-3. Código EES - Ecuaciones en el diseño hidráulico disposición de anillos.

```

"! -----| DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO |-----"
"! -----| SECCIÓN DOS : DISEÑO HIDRÁULICO |-----"
"! -----| CONFIGURACIÓN : ANILLOS |-----"

"! -----> CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO:"
"* El procedimiento de cálculo inicia desde el gotero hasta la fuente de agua."
"* El sistema de riego se divide en dos fases: (1) Sistemas de distribución y (2) Sistema de transporte."
"* El área de cultivo se divide en dos Subunidades."
"* Como el procedimiento de cálculo se inicia en el gotero, primero se aborda el (1) Sistema de distribución, y, con los datos de presión y caudal necesarios para el riego de las subunidades, se inicia el cálculo del (2) Sistema de transporte."

"!----- FASE UNO: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN -----"
"!-----"

"* El procedimiento de cálculo inicia desde el gotero hasta la fuente de agua."
"* Las DOS SUBUNIDADES se calculan de forma independiente debido a las diferencias en cada una."

"!----- SUBUNIDAD 1 -----"
"!-----"

"El esquema se muestra en 'Diagram Window (Ctrl+D)'. La distribución de las líneas y la nomenclatura de los mismos."

```

"! -----> PRIMERO: GOTERO"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

\*\* Tipo de gotero: AC - AutoCompensado."

\*\* Referencia: PCJ Dripper"

\*\* Catálogo: Netafim Drippers."

"! (2) Ecuación de descarga del gotero:"

"Expresión válida para cualquier tipo de gotero:"

$Q_{\text{gotero}_1} = K_1 * (P_{\text{gotero}_1})^{x_1}$  "----> Caudal del gotero en [L/h]."

$Q_{\text{dot\_gotero}_1} = Q_{\text{gotero}_1} * \text{convert}(L/h; m^3/s)$  "----> Caudal del gotero en [m<sup>3</sup>/s]."

"Donde:"

$K_1 = 4$  "----> Coeficiente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar].} { CATÁLOGO NETAFIM

DRIPPERS }

$x_1 = 0,0001$  "----> Exponente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar].} { CATÁLOGO NETAFIM

DRIPPERS }

$P_{\text{gotero}_1} = 10$  [mca] "----> Presión de trabajo en el gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar].} { CATÁLOGO

NETAFIM DRIPPERS }

"NOTA: El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo limita la variación máxima de caudal a un 10% en el lateral y por extensión en la unidad de riego, criterio que se aplica a todo tipo de goteros."

"! (3) Máxima variación de la presión:"

$\text{DELTA}P_{\text{gotero}_1} = \text{Porcentaje\_perm}_1 * P_{\text{gotero}_1}$

$\text{Porcentaje\_perm}_1 = 0,1 / x_1$  "----> Porcentaje permisible de la variación de la  $P_{\text{gotero}}$  para no sobrepasar 10% en la variación del caudal."

"! -----> SEGUNDO (2,1): TUBERÍAS SUB-LATERALES (PORTA-GOTEROS)"

"Teniendo en cuenta que el área de cultivo cuenta con CATORCE CALLES (Sin contar los dos árboles solos), se determina dividir el cultivo en dos secciones, cada una con SIETE CALLES."

"Como se especifica en el título inicial, este es el código de cálculo para la primera sección: SUBUNIDAD 1."

"A continuación, se asignan subíndices a cada sublateral según corresponda, teniendo en cuenta que el Diseño Agronómico arrojó un número mínimo de cuatro emisores por árbol."

"La disposición de los sublaterales se muestra en el Esquema (Ctrl+D - Diagram Window)."

"NOTA: Se decide trabajar cada grupo de sublaterales de forma independiente para realizar variaciones en el diámetro de las mangueras, buscando minizar costos y mejorar el sistema."

"! (1) Consideraciones iniciales:"

$N_{\text{goteros}_1} = 4$  "----> Número de goteros en cada sublateral"

$N_{\text{sublaterales}_1} = N_{\text{sublaterales}_1a4_1} + N_{\text{sublaterales}_5a6_1} + N_{\text{sublaterales}_7_1}$  "----> Número total de sublaterales en la SubUnidad."

$N_{\text{sublaterales}_1a4_1} = 4$  "----> Número de sublaterales presentes en la calle 1 a 4."

$N_{\text{sublaterales}_5a6_1} = 3$  "----> Número de sublaterales presentes en la calle 5 al 6."

$N_{\text{sublaterales}_7_1} = 2$  "----> Número de sublaterales presentes en la calle 7."

$\text{Long\_sublateral}_1 = \text{Long\_sublateral}_0_1 + (N_{\text{goteros}_1} - 1) * \text{Dist\_goteros}_1 + \text{Long\_sublateral\_e}_1$  [m] "----> Longitud del sublateral." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios y primer emisor separado.} {

UNIVERSIDAD JAUME I }

"Donde:"

$\text{Long\_sublateral}_0_1 = 0,5$  [m] "----> Distancia desde el inicio del sublateral al primer emisor." {Valor aplicable a todos los sublaterales.} { MEDICIÓN }

$\text{Dist\_goteros}_1 = 1$  [m] "----> Distancia de separación entre emisores." {Valor obtenido del diseño agronómico.} { CÁLCULO D. AGRONÓMICO }

$\text{Long\_sublateral\_e}_1 = 0,15$  [m] "----> Longitud excedente final en el sublateral." {Valor aplicable a todos los sublaterales.} { MEDICIÓN }

"! (1.1) Material tuberías sublaterales:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: MANGUERA DE 16mm Y 20mm LAS MÁS USADAS PARA LÍNEAS PORTAGOTEROS EN EL MERCADO."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_sublateral\_1 = 14e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería sublateral."  
epsilon\_sublateral\_1 = 1e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería sublateral."

{ "OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)

Di\_sublateral\_1 = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería sublateral."  
epsilon\_sublateral\_1 = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería sublateral." }

"! (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

"DELTAH\_u <= DELTAP\_gotero"

"Es decir:"

"DELTAH\_u <= ( 0,1 / x ) \* P\_nominal"

"Donde:"

{ DELTAH\_u = h\_f.laterales + h\_f.terciarias } "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías."

"DELTAH\_u\_1 = (h\_f.sublaterales\_1 + h\_f.laterales\_1) + h\_f.terc\_1"

h\_f.sublaterales\_1 = (N\_sublaterales\_1a4\_1\*(h\_f.sublateral\_1\_1 + h\_f.sublateral\_2\_1 + h\_f.sublateral\_3\_1 + h\_f.sublateral\_4\_1)) + (N\_sublaterales\_5a6\_1\*(h\_f.sublateral\_5\_1 + h\_f.sublateral\_6\_1)) + (N\_sublaterales\_7\_1\*h\_f.sublateral\_7\_1) "----> Pérdidas de carga totales en las sublaterales de cada calle de la SUBUNIDAD 1."

"! (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del h\_f.sublateral.calculado con el valor de h\_f.sublateral.admisible."

"(h\_f.sublateral.admisible\_1 + h\_f.lateral.admisible\_1) = (0,055 / x\_1)\*P\_gotero\_1" "----> Según criterio económico que busca el coste mínimo de la instalación, y en el que se estable que: 55%DELTAH\_u = h\_f.laterales y 45%DELTAH\_u = h\_f.terciarias."

"Entonces:"

h\_f.sublateral.admisible\_1 = (0,0275 / x\_1)\*P\_gotero\_1

"Se debe cumplir que:"

"h\_f.sublateral.calculado <= h\_f.sublateral.admisible"

"! (4) Pérdidas de Carga en el Sublateral:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a los goteros):"

"Para cada grupo de sublaterales:"

h\_f.sublateral\_1\_1 = h\_f.SL\_1\_1 \* F\_cSL\_1

h\_f.sublateral\_2\_1 = h\_f.SL\_2\_1 \* F\_cSL\_1

h\_f.sublateral\_3\_1 = h\_f.SL\_3\_1 \* F\_cSL\_1

h\_f.sublateral\_4\_1 = h\_f.SL\_4\_1 \* F\_cSL\_1

h\_f.sublateral\_5\_1 = h\_f.SL\_5\_1 \* F\_cSL\_1

h\_f.sublateral\_6\_1 = h\_f.SL\_6\_1 \* F\_cSL\_1

h\_f.sublateral\_7\_1 = h\_f.SL\_7\_1 \* F\_cSL\_1

"! (4,1) Coeficiente de Christiansen (F\_c):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

F\_cSL\_1 = ( 1 / ( 1 + beta\_SL\_1 ) ) + ( 1 / ( 2\*N\_goteros\_1 ) ) + ( ( beta\_SL\_1 - 1 )^(1/2) / ( 6\*N\_goteros\_1^2 ) )

"Donde:"

beta\_SL\_1 = 1,75 {Tubería de PE 100% según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} {VALORES PRÁCTICOS SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{O, Beta se puede 'CALCULAR' así: beta = (37530/Re)^16}

"! (4,2) Pérdidas de carga en el Sublateral (h\_f.SL):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:"

"Para cada grupo de sublaterales:" {REVISAR UNIDADES: Q [m^3/s], h\_f [mca], D[m], L[m]}

h\_f.SL\_1\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_sublateral\_1\_1 \* Long\_sublateral\_1 \* Q\_dot\_sublateral\_1^2 ) / ( Dcalc\_sublateral\_1^1^5 ) )

h\_f.SL\_2\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_sublateral\_2\_1 \* Long\_sublateral\_1 \* Q\_dot\_sublateral\_1^2 ) / ( Dcalc\_sublateral\_2^1^5 ) )

h\_f.SL\_3\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_sublateral\_3\_1 \* Long\_sublateral\_1 \* Q\_dot\_sublateral\_1^2 ) / ( Dcalc\_sublateral\_3^1^5 ) )

h\_f.SL\_4\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_sublateral\_4\_1 \* Long\_sublateral\_1 \* Q\_dot\_sublateral\_1^2 ) / ( Dcalc\_sublateral\_4^1^5 ) )

h\_f.SL\_5\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_sublateral\_5\_1 \* Long\_sublateral\_1 \* Q\_dot\_sublateral\_1^2 ) / ( Dcalc\_sublateral\_5^1^5 ) )

h\_f.SL\_6\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_sublateral\_6\_1 \* Long\_sublateral\_1 \* Q\_dot\_sublateral\_1^2 ) / ( Dcalc\_sublateral\_6^1^5 ) )

h\_f.SL\_7\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_sublateral\_7\_1 \* Long\_sublateral\_1 \* Q\_dot\_sublateral\_1^2 ) / ( Dcalc\_sublateral\_7^1^5 ) )

"Donde:"

"----> Diámetro interno de cada grupo de sublaterales."

"Seleccionar los valores de diámetro deseados para cada grupo de sublaterales teniendo en cuenta las opciones del catálogo:"

Dcalc\_sublateral\_1\_1 = Di\_sublateral\_1  
Dcalc\_sublateral\_2\_1 = Di\_sublateral\_1  
Dcalc\_sublateral\_3\_1 = Di\_sublateral\_1  
Dcalc\_sublateral\_4\_1 = Di\_sublateral\_1  
Dcalc\_sublateral\_5\_1 = Di\_sublateral\_1  
Dcalc\_sublateral\_6\_1 = Di\_sublateral\_1  
Dcalc\_sublateral\_7\_1 = Di\_sublateral\_1

"----> Espesor de la pared de cada grupo de sublaterales."

"Ingresar los valores de espesor de la pared de la tubería de cada grupo de sublaterales según el modelo seleccionado:"

epsilon\_sublateral\_1\_1 = epsilon\_sublateral\_1  
epsilon\_sublateral\_2\_1 = epsilon\_sublateral\_1  
epsilon\_sublateral\_3\_1 = epsilon\_sublateral\_1  
epsilon\_sublateral\_4\_1 = epsilon\_sublateral\_1  
epsilon\_sublateral\_5\_1 = epsilon\_sublateral\_1  
epsilon\_sublateral\_6\_1 = epsilon\_sublateral\_1  
epsilon\_sublateral\_7\_1 = epsilon\_sublateral\_1

"----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

f\_sublateral\_1\_1 = MoodyChart(Re\_sublateral\_1\_1; RR\_sublateral\_1\_1)  
f\_sublateral\_2\_1 = MoodyChart(Re\_sublateral\_2\_1; RR\_sublateral\_2\_1)  
f\_sublateral\_3\_1 = MoodyChart(Re\_sublateral\_3\_1; RR\_sublateral\_3\_1)  
f\_sublateral\_4\_1 = MoodyChart(Re\_sublateral\_4\_1; RR\_sublateral\_4\_1)  
f\_sublateral\_5\_1 = MoodyChart(Re\_sublateral\_5\_1; RR\_sublateral\_5\_1)  
f\_sublateral\_6\_1 = MoodyChart(Re\_sublateral\_6\_1; RR\_sublateral\_6\_1)  
f\_sublateral\_7\_1 = MoodyChart(Re\_sublateral\_7\_1; RR\_sublateral\_7\_1)

"----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

Re\_sublateral\_1\_1 = (4 \* Q\_dot\_sublateral\_1) / (pi \* Dcalc\_sublateral\_1\_1 \* nu)  
Re\_sublateral\_2\_1 = (4 \* Q\_dot\_sublateral\_1) / (pi \* Dcalc\_sublateral\_2\_1 \* nu)  
Re\_sublateral\_3\_1 = (4 \* Q\_dot\_sublateral\_1) / (pi \* Dcalc\_sublateral\_3\_1 \* nu)  
Re\_sublateral\_4\_1 = (4 \* Q\_dot\_sublateral\_1) / (pi \* Dcalc\_sublateral\_4\_1 \* nu)  
Re\_sublateral\_5\_1 = (4 \* Q\_dot\_sublateral\_1) / (pi \* Dcalc\_sublateral\_5\_1 \* nu)  
Re\_sublateral\_6\_1 = (4 \* Q\_dot\_sublateral\_1) / (pi \* Dcalc\_sublateral\_6\_1 \* nu)  
Re\_sublateral\_7\_1 = (4 \* Q\_dot\_sublateral\_1) / (pi \* Dcalc\_sublateral\_7\_1 \* nu)

"----> Caudal en el sublateral."

Q\_dot\_sublateral\_1 = N\_goteros\_1 \* Q\_dot\_gotero\_1 "[m^3/s]"

nu = mu / rho "[m^2/s]" ----> Viscosidad cinemática del agua."

mu = Viscosity(Water; T=T\_ref; P=P\_ref) "[kg/m.s]" ----> Viscosidad dinámica del agua."

rho = Density(Water; T=T\_ref; P=P\_ref) "[kg/m^3]" ----> Densidad del agua."

T\_ref = 25 [°C]" ----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

P\_ref = 101,12 [kPa]" ----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

"----> Radio relativo del sublateral."

RR\_sublateral\_1\_1 = epsilon\_sublateral\_1\_1 / Dcalc\_sublateral\_1\_1  
RR\_sublateral\_2\_1 = epsilon\_sublateral\_2\_1 / Dcalc\_sublateral\_2\_1  
RR\_sublateral\_3\_1 = epsilon\_sublateral\_3\_1 / Dcalc\_sublateral\_3\_1  
RR\_sublateral\_4\_1 = epsilon\_sublateral\_4\_1 / Dcalc\_sublateral\_4\_1  
RR\_sublateral\_5\_1 = epsilon\_sublateral\_5\_1 / Dcalc\_sublateral\_5\_1  
RR\_sublateral\_6\_1 = epsilon\_sublateral\_6\_1 / Dcalc\_sublateral\_6\_1  
RR\_sublateral\_7\_1 = epsilon\_sublateral\_7\_1 / Dcalc\_sublateral\_7\_1

"! (5) Presión en el origen del Sublateral:"

"Para cada grupo de sublaterales:"

Pinicial\_SL\_1\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.sublateral\_1\_1 + (DELTAZ\_SL\_1 / 2)  
Pinicial\_SL\_2\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.sublateral\_2\_1 + (DELTAZ\_SL\_1 / 2)  
Pinicial\_SL\_3\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.sublateral\_3\_1 + (DELTAZ\_SL\_1 / 2)  
Pinicial\_SL\_4\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.sublateral\_4\_1 + (DELTAZ\_SL\_1 / 2)  
Pinicial\_SL\_5\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.sublateral\_5\_1 + (DELTAZ\_SL\_1 / 2)  
Pinicial\_SL\_6\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.sublateral\_6\_1 + (DELTAZ\_SL\_1 / 2)  
Pinicial\_SL\_7\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.sublateral\_7\_1 + (DELTAZ\_SL\_1 / 2)

"Donde:"

Pmedia\_SL\_1 = Pnom\_SL\_1 "----> Presión media en el sublateral que debe coincidir con la presión nominal."

Pnom\_SL\_1 = P\_gotero\_1 "----> Presión nominal o presión a la que el gotero emite el caudal nominal durante el

funcionamiento."

$DELTAZ\_SL\_1 = - (Pendientesub\_1 * Long\_sublateral\_1) / 100$  "----> Desnivel geométrico entre los extremos del sublateral:  
+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."

$Pendientesub\_1 = 0$  [%] "----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} {MEDICIÓN}

## "! -----> SEGUNDO (2,2): TUBERÍAS LATERALES (PORTA-SUBLATERALES)"

"Teniendo en cuenta que el área de cultivo cuenta con CATORCE CALLES (Sin contar los dos árboles solos), se determina dividir el cultivo en dos secciones, cada una con SIETE CALLES."

"Como se especifica en el título inicial, este es el código de cálculo para la primera sección: SUBUNIDAD 1."

"A continuación, se asignan subíndices a cada lateral del 1 al 7."

"La disposición de los laterales se muestra en el Esquema (Ctrl+D - Diagram Window)."

"NOTA: Se decide trabajar cada grupo de laterales de forma independiente para realizar variaciones en el diámetro de las mangueras, buscando minizar costos y mejorar el sistema."

### "! (1) Consideraciones iniciales:"

$N\_laterales\_1 = 7$  "----> Número total de laterales presentes en la Subunidad."

$N\_laterales\_1a4\_1 = 4$  "----> Número de laterales presentes en la calle 1 a 4."

$N\_laterales\_5a6\_1 = 2$  "----> Número de laterales presentes en la calle 5 a 6."

$N\_laterales\_7\_1 = 1$  "----> Número de laterales presentes en la calle 7."

"[m] ----> Longitud del lateral." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios y primer emisor separado.} {UNIVERSIDAD JAUME I}

"Para cada grupo de laterales:"

$Long\_lateral\_1a4\_1 = Long\_lateral\_0\_1 + (N\_sublaterales\_1a4\_1 - 1) * Dist\_sublaterales\_1 + Long\_lateral\_e\_1$

$Long\_lateral\_5a6\_1 = Long\_lateral\_0\_1 + (N\_sublaterales\_5a6\_1 - 1) * Dist\_sublaterales\_1 + Long\_lateral\_e\_1$

$Long\_lateral\_7\_1 = Long\_lateral\_0\_1 + (N\_sublaterales\_7\_1 - 1) * Dist\_sublaterales\_1 + Long\_lateral\_e\_1$

"Donde:"

$Long\_lateral\_0\_1 = 0,5$  [m] "----> Distancia desde el inicio del lateral al primer sublateral." {Valor aplicable a todos los laterales.} {MEDICIÓN}

$Dist\_sublaterales\_1 = 5$  [m] "----> Distancia de separación entre sublaterales." {Valor obtenido del diseño agronómico.} {CÁLCULO D. AGRONÓMICO}

$Long\_lateral\_e\_1 = 0,2$  [m] "----> Longitud excedente final en el lateral." {Valor aplicable a todos los sublaterales.}

### "! (1.1) Material tuberías laterales:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES}

"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

$Di\_lateral\_1 = 14e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

$epsilon\_lateral\_1 = 1e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral."

"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

$Di\_lateral\_1 = 17,6e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

$epsilon\_lateral\_1 = 1,2e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral."

"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

$Di\_lateral\_1 = 22e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

$epsilon\_lateral\_1 = 1,5e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral."

"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

$Di\_lateral\_1 = 29,4e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

$epsilon\_lateral\_1 = 1,3e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral."

"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

$Di\_lateral\_1 = 27,2e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

$epsilon\_lateral\_1 = 2,4e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral."

{ "OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"  
Di\_lateral\_1 = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_1 = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

{ "OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"  
Di\_lateral\_1 = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_1 = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

{ "OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"  
Di\_lateral\_1 = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_1 = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

{ "OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"  
Di\_lateral\_1 = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_1 = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

{ "OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"  
Di\_lateral\_1 = 45,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_1 = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

{ "OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_lateral\_1 = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_1 = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

{ "OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_lateral\_1 = 57e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_1 = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

#### !" (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

"DELTAH\_u <= DELTAP\_gotero"

"Es decir:"

"DELTAH\_u <= ( 0,1 / x ) \* P\_nominal"

"Donde:"

{ DELTAH\_u = h\_f.laterales + h\_f.terciarias } "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías." { REVISAR: CÓMO ANALIZAR ESAS PÉRDIDAS }

DELTAH\_u\_1 = (h\_f.sublaterales\_1 + h\_f.laterales\_1) + h\_f.terc\_1

h\_f.laterales\_1 = h\_f.lateral\_1\_1 + h\_f.lateral\_2\_1 + h\_f.lateral\_3\_1 + h\_f.lateral\_4\_1 + h\_f.lateral\_5\_1 + h\_f.lateral\_6\_1 +

h\_f.lateral\_7\_1 "----> Pérdidas de carga totales en las laterales de la SUBUNIDAD 1."

#### !" (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del h\_f.lateral.calculado con el valor de h\_f.lateral.admisibles."

{ (h\_f.sublateral.admisibles\_1 + h\_f.lateral.admisibles\_1) = (0,055 / x\_1) \* P\_gotero\_1 } "----> Según criterio económico que busca el coste mínimo de la Instalación, y en el que se estable que: 55%DELTAH\_u = h\_f.laterales y 45%DELTAH\_u = h\_f.terciarias."

"Entonces:"

h\_f.lateral.admisibles\_1 = (0,0275 / x\_1) \* P\_gotero\_1

"Se debe cumplir que:"

"h\_f.lateral.calculado <= h\_f.lateral.admisibles"

#### !" (4) Pérdidas de Carga en el Lateral:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a los goteros):"

"Para cada grupo de laterales:"

h\_f.lateral\_1\_1 = h\_f.L\_1\_1 \* F\_cL\_1a4\_1

h\_f.lateral\_2\_1 = h\_f.L\_2\_1 \* F\_cL\_1a4\_1

h\_f.lateral\_3\_1 = h\_f.L\_3\_1 \* F\_cL\_1a4\_1

h\_f.lateral\_4\_1 = h\_f.L\_4\_1 \* F\_cL\_1a4\_1

h\_f.lateral\_5\_1 = h\_f.L\_5\_1 \* F\_cL\_5a6\_1

h\_f.lateral\_6\_1 = h\_f.L\_6\_1 \* F\_cL\_5a6\_1

$$h_{f,lateral\_7\_1} = h_{f,L\_7\_1} * F_{cL\_7\_1}$$

"I (4,1) Coeficiente de Christiansen (F\_c):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

"Para cada grupo de laterales:"

$$F_{cL\_1a4\_1} = (1 / (1 + \beta_{L\_1})) + (1 / (2 * N_{sublaterales\_1a4\_1})) + ((\beta_{L\_1} - 1)^{1/2} / (6 * N_{sublaterales\_1a4\_1}^2))$$

$$F_{cL\_5a6\_1} = (1 / (1 + \beta_{L\_1})) + (1 / (2 * N_{sublaterales\_5a6\_1})) + ((\beta_{L\_1} - 1)^{1/2} / (6 * N_{sublaterales\_5a6\_1}^2))$$

$$F_{cL\_7\_1} = (1 / (1 + \beta_{L\_1})) + (1 / (2 * N_{sublaterales\_7\_1})) + ((\beta_{L\_1} - 1)^{1/2} / (6 * N_{sublaterales\_7\_1}^2))$$

"Donde:"

beta\_L\_1 = 1,75 {Tubería de PE 100% según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} {VALORES PRÁCTICOS

SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{O. Beta se puede 'CALCULAR' así: beta = (37530/Re)^16}

"I (4,2) Pérdidas de carga en el Lateral (h\_f.L):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:"

"Para cada grupo de laterales:" {REVISAR UNIDADES: Q [m³/s], h\_f [mca], D[m], L[m]}

$$h_{f,L\_1\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_1\_1} * Long_{lateral\_1a4\_1} * Q_{dot\_lateral1a4\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_1\_1}^5))$$

$$h_{f,L\_2\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_2\_1} * Long_{lateral\_1a4\_1} * Q_{dot\_lateral1a4\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_2\_1}^5))$$

$$h_{f,L\_3\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_3\_1} * Long_{lateral\_1a4\_1} * Q_{dot\_lateral1a4\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_3\_1}^5))$$

$$h_{f,L\_4\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_4\_1} * Long_{lateral\_1a4\_1} * Q_{dot\_lateral1a4\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_4\_1}^5))$$

$$h_{f,L\_5\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_5\_1} * Long_{lateral\_5a6\_1} * Q_{dot\_lateral5a6\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_5\_1}^5))$$

$$h_{f,L\_6\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_6\_1} * Long_{lateral\_5a6\_1} * Q_{dot\_lateral5a6\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_6\_1}^5))$$

$$h_{f,L\_7\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_7\_1} * Long_{lateral\_7\_1} * Q_{dot\_lateral7\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_7\_1}^5))$$

"Donde:"

"----> Diámetro interno de cada grupo de laterales."

"Seleccionar los valores de diámetro deseados para cada grupo de laterales teniendo en cuenta las opciones del catálogo:"

$$D_{calc\_lateral\_1\_1} = D_{i\_lateral\_1}$$

$$D_{calc\_lateral\_2\_1} = D_{i\_lateral\_1}$$

$$D_{calc\_lateral\_3\_1} = D_{i\_lateral\_1}$$

$$D_{calc\_lateral\_4\_1} = D_{i\_lateral\_1}$$

$$D_{calc\_lateral\_5\_1} = D_{i\_lateral\_1}$$

$$D_{calc\_lateral\_6\_1} = D_{i\_lateral\_1}$$

$$D_{calc\_lateral\_7\_1} = D_{i\_lateral\_1}$$

"----> Espesor de la pared de cada grupo de laterales."

"Ingresar los valores de espesor de la pared de la tubería de cada grupo de laterales según el modelo seleccionado:"

$$\epsilon_{lateral\_1\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$$

$$\epsilon_{lateral\_2\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$$

$$\epsilon_{lateral\_3\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$$

$$\epsilon_{lateral\_4\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$$

$$\epsilon_{lateral\_5\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$$

$$\epsilon_{lateral\_6\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$$

$$\epsilon_{lateral\_7\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$$

"----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$$f_{lateral\_1\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_1\_1}; RR_{lateral\_1\_1})$$

$$f_{lateral\_2\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_2\_1}; RR_{lateral\_2\_1})$$

$$f_{lateral\_3\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_3\_1}; RR_{lateral\_3\_1})$$

$$f_{lateral\_4\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_4\_1}; RR_{lateral\_4\_1})$$

$$f_{lateral\_5\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_5\_1}; RR_{lateral\_5\_1})$$

$$f_{lateral\_6\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_6\_1}; RR_{lateral\_6\_1})$$

$$f_{lateral\_7\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_7\_1}; RR_{lateral\_7\_1})$$

"----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$$Re_{lateral\_1\_1} = (4 * Q_{dot\_lateral1a4\_1}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_1\_1} * \nu)$$

$$Re_{lateral\_2\_1} = (4 * Q_{dot\_lateral1a4\_1}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_2\_1} * \nu)$$

$$Re_{lateral\_3\_1} = (4 * Q_{dot\_lateral1a4\_1}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_3\_1} * \nu)$$

$$Re_{lateral\_4\_1} = (4 * Q_{dot\_lateral1a4\_1}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_4\_1} * \nu)$$

$$Re_{lateral\_5\_1} = (4 * Q_{dot\_lateral5a6\_1}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_5\_1} * \nu)$$

$$Re_{lateral\_6\_1} = (4 * Q_{dot\_lateral5a6\_1}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_6\_1} * \nu)$$

$$Re_{lateral\_7\_1} = (4 * Q_{dot\_lateral7\_1}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_7\_1} * \nu)$$

"----> Caudal en el Lateral."

$$Q_{dot\_lateral1a4\_1} = N_{sublaterales\_1a4\_1} * Q_{dot\_sublateral\_1} \text{ "[m³/s]"}$$

$$Q_{dot\_lateral5a6\_1} = N_{sublaterales\_5a6\_1} * Q_{dot\_sublateral\_1} \text{ "[m³/s]"}$$

$$Q_{dot\_lateral7\_1} = N_{sublaterales\_7\_1} * Q_{dot\_sublateral\_1} \text{ "[m³/s]"}$$

$$V_{lat\_1} = Q_{dot\_lateral1a4\_1} / ((\pi/4) * (D_{calc\_lateral\_1\_1})^2)$$

"----> Radio relativo del Lateral."

RR\_lateral\_1\_1 = epsilon\_lateral\_1\_1 / Dcalc\_lateral\_1\_1  
RR\_lateral\_2\_1 = epsilon\_lateral\_2\_1 / Dcalc\_lateral\_2\_1  
RR\_lateral\_3\_1 = epsilon\_lateral\_3\_1 / Dcalc\_lateral\_3\_1  
RR\_lateral\_4\_1 = epsilon\_lateral\_4\_1 / Dcalc\_lateral\_4\_1  
RR\_lateral\_5\_1 = epsilon\_lateral\_5\_1 / Dcalc\_lateral\_5\_1  
RR\_lateral\_6\_1 = epsilon\_lateral\_6\_1 / Dcalc\_lateral\_6\_1  
RR\_lateral\_7\_1 = epsilon\_lateral\_7\_1 / Dcalc\_lateral\_7\_1

"! (5) Presión en el origen del Lateral:"

"Para cada grupo de laterales:"

Pinicial\_L\_1\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_1\_1 + (DELTAZ\_L1a4\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_2\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_2\_1 + (DELTAZ\_L1a4\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_3\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_3\_1 + (DELTAZ\_L1a4\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_4\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_4\_1 + (DELTAZ\_L1a4\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_5\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_5\_1 + (DELTAZ\_L5a6\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_6\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_6\_1 + (DELTAZ\_L5a6\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_7\_1 = Pmedia\_SL\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_7\_1 + (DELTAZ\_L7\_1 / 2 )

"Donde:"

"----> Desnivel geométrico entre los extremos del lateral: (+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."

DELTAZ\_L1a4\_1 = - ( Pendiente\_1\*Long\_lateral\_1a4\_1 ) / 100

DELTAZ\_L5a6\_1 = - ( Pendiente\_1\*Long\_lateral\_5a6\_1 ) / 100

DELTAZ\_L7\_1 = - ( Pendiente\_1\*Long\_lateral\_7\_1 ) / 100

Pendiente\_1 = 30 [%] "----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} { MEDICIÓN }

"! -----> TERCERO: TUBERÍAS TERCIARIAS"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

Long\_terc\_1 = Long\_terc\_0\_1 + ( N\_laterales\_1 - 1 ) \* Dist\_laterales + Long\_terc\_e\_1 "[m] ----> Longitud de la tubería terciaria." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios y primer emisor separado.} { UNIVERSIDAD JAUME I }

"Donde:"

Long\_terc\_0\_1 = 0,5 [m] "----> Distancia desde el inicio de la tubería terciaria al primer lateral." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

{N\_laterales\_1 = 7 "----> Número de laterales en la Subunidad 1."}

Dist\_laterales = 6 [m] "----> Distancia de separación entre los laterales."

Long\_terc\_e\_1 = 0,2 [m] "----> Longitud excedente final en la terciaria."

"! (1.1) Material tuberías terciarias:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_terc\_1 = 14e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 1e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_terc\_1 = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

Di\_terc\_1 = 22e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 1,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

{"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_terc\_1 = 29,4e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 1,3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"  
Di\_terc\_1 = 27,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_1 = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"  
Di\_terc\_1 = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_1 = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"  
Di\_terc\_1 = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_1 = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"  
Di\_terc\_1 = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_1 = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"  
Di\_terc\_1 = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_1 = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"  
Di\_terc\_1 = 45,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_1 = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_terc\_1 = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_1 = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_terc\_1 = 57e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_1 = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

"! (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

" $\Delta H_u \leq (0,1 / x) * P_{nominal}$ "

"! (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del  $h_{f,terc}$  calculado, con el valor de  $h_{f,terc,admisibles}$ ."

$h_{f,terc,admisibles_1} = (0,1 / x_1) * P_{gotero_1} - (h_{f,sublateral,real_1} + h_{f,lateral,real_1})$  "----> Será igual a la Pérdida de carga admisible en la Subunidad menos la Pérdida de carga real producida en los laterales (CALCULADOS ANTERIORMENTE)."

"Donde:"

$h_{f,sublateral,real_1} = h_{f,sublaterales_1}$

$h_{f,lateral,real_1} = h_{f,laterales_1}$

" $h_{f,terc,calculado} \leq h_{f,terc,admisibles}$ "

"! (4) Pérdidas de Carga en la tubería Terciaria:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a las tuberías laterales):"

$h_{f,terc_1} = h_{f,T_1} * F_{cT_1}$

"! (4,1) Coeficiente de Christiansen ( $F_c$ ):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

$F_{cT_1} = (1 / (1 + \beta_{T_1})) + (1 / (2 * N_{laterales_1})) + ((\beta_{T_1} - 1)^{(1/2)} / (6 * N_{laterales_1}^2))$

"Donde:"

$\beta_{T_1} = 1,75$  {Tubería de PE 40 según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES;} {VALORES PRÁCTICOS

SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{O, Beta se puede 'CALCULAR' así:  $\beta = (37530/Re)^{16}$ }

"! (4,2) Pérdidas de carga en la tubería Terciaria (h<sub>f,T</sub>):"  
 "A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:"  

$$h_{f,T_1} = (1/12,1) * ((f_{terc_1} * Long_{terc_1} * Q_{dot_{terc_1}}^2) / (D_{calc_{terc_1}}^5))$$
 {REVISAR UNIDADES: Q[m<sup>3</sup>/s], h<sub>f</sub>[mca], D[m], L[m].}  
 "Donde:"  

$$D_{calc_{terc_1}} = D_{i_{terc_1}}$$
  

$$f_{terc_1} = \text{MoodyChart}(Re_{terc_1}; RR_{terc_1})$$
 "----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."  

$$Re_{terc_1} = (4 * Q_{dot_{terc_1}}) / (\pi * D_{i_{terc_1}} * \nu)$$
 "----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."  

$$Q_{dot_{terc_1}} = (N_{laterales_{1a4_1}} * Q_{dot_{lateral1a4_1}}) + (N_{laterales_{5a6_1}} * Q_{dot_{lateral5a6_1}}) + (N_{laterales_{7_1}} * Q_{dot_{lateral7_1}})$$
 "[m<sup>3</sup>/s] ----> Caudal en la tubería Terciaria."  

$$v_{terc_1} = Q_{dot_{terc_1}} / ((\pi/4) * D_{calc_{terc_1}}^2)$$
 "[m/s] ----> Velocidad en la terciaria."  

$$RR_{terc_1} = \epsilon_{terc_1} / D_{i_{terc_1}}$$
 "----> Radio relativo de la Terciaria."

"! (5) Presión en el origen de la tubería Terciaria:"  

$$P_{inicial\_T\_1} = P_{media\_T\_1} + 0,73 * h_{f,terc_1} + (DELTAZ_{T\_1} / 2)$$
  
 "Donde:"  

$$P_{media\_T\_1} = P_{nom\_T\_1}$$
 "----> Presión media en la terciaria que debe coincidir con la presión nominal."  

$$P_{nom\_T\_1} = P_{inicial\_L\_7\_1}$$
 "----> Presión nominal o presión a la que el gotero emite el caudal nominal durante el funcionamiento."  
 "----> Desnivel geométrico entre los extremos de la terciaria: (+) Densivel ascendente y (-) Densivel descendente."  

$$DELTAZ_{T\_1} = - (Pendiente_{T1} * Long_{terc_1}) / 100$$
 "----> Densivel geométrico entre los extremos de la Terciaria: (+) Densivel ascendente y (-) Densivel descendente."  

$$Pendiente_{T1} = 10 [\%]$$
 "----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} { MEDICIÓN }

"! -----> COMPROBACIÓN ADICIONAL: ANÁLISIS DE PRESIONES EN LOS GOTEROS INICIAL Y FINAL"  
 "Si en la SUBUNIDAD de riego se tiene al inicio una presión P<sub>máx</sub>, a medida que avanza el fluido en el sistema hasta el gotero más alejado la presión disminuirá debido a las pérdidas."  
 "Estas pérdidas por fricción son producidas tanto en la tuberías laterales como en la terciaria."

"! (1) Relación de presiones en la SUBUNIDAD:"  
 "Debido a lo mencionado anteriormente, la presión en el último gotero de la SUBUNIDAD, se presenta como:"  

$$P_{máx\_1} - P_{min\_1} = DELTAH_{u\_1}$$
  
 "Donde:"  

$$\{DELTAH_{u\_1} = h_{f,laterales} + h_{f,terciarias}\}$$
 "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías." { RELACIÓN EXPLICADA ANTERIORMENTE }  

$$P_{máx\_1} = P_{gotero\_1}$$
 "----> Presión del gotero más cercano a la válvula de control en la SUBUNIDAD." { Suponiendo la Presión nominal máxima para efectos de seguridad }

"! (2) Criterio hidráulico más significativo:"  
 "La máxima diferencia permitida de caudal en una unidad de riego por goteo será de un 10% para que la uniformidad de riego se encuentre en valores razonables."

"! (3) Comprobación:"  
 "Cálculo del Caudal en el gotero más alejado de la válvula en la SUBUNIDAD:"  

$$Q_{min\_1} = K_1 * (P_{min\_1})^{x_1}$$
 "----> Caudal del Gotero más alejado en [L/h]."  
 "Finalmente, el porcentaje de variación del caudal en la SUBUNIDAD:"  

$$Porc.variac.caudal_1 = (100 - ((Q_{min\_1} * 100) / Q_{gotero_1}))$$
  
 "Se debe cumplir que:  $Porc.variac.caudal = DELTAH_{u\_1} \leq DELTAP_{gotero} \leq (0,1 / x) * P_{nominal}$ "

"!----- SUBUNIDAD 2 -----"  
 "-----"  
 "El esquema se muestra en 'Diagram Window (Ctrl+D)'. La distribución de las líneas y la nomenclatura de los mismos."

"! -----> PRIMERO: GOTERO"  
 "!(1) Consideraciones iniciales:"  
 "\*\* Tipo de gotero: AC - AutoCompensado."  
 "\*\* Referencia: PCJ Dripper"  
 "\*\* Catálogo: Netafim Drippers."  
 "!(2) Ecuación de descarga de un gotero:"  
 "Expresión válida para cualquier tipo de gotero:"  

$$Q_{gotero\_2} = K_2 * (P_{gotero\_2})^{x_2}$$
 "----> Caudal del gotero en [L/h]."  

$$Q_{dot\_gotero\_2} = Q_{gotero\_2} * \text{convert}(L/h; m^3/s)$$
 "----> Caudal del gotero en [m<sup>3</sup>/s]."

"Donde:"

$K_2 = 4$  "----> Coeficiente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar].} { CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS }

$x_2 = 0,0001$  "----> Exponente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar].} { CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS }

$P_{\text{gotero}_2} = 10$  [mca] "----> Presión de trabajo en el gotero." {Valor de la Presión nominal en el gotero.} { CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS }

"NOTA: El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo limita la variación máxima de caudal a un 10% en el lateral y por extensión en la unidad de riego, criterio que se aplica a todo tipo de goteros."

"! (3) Máxima variación de la presión:"

$\text{DELTAP}_{\text{gotero}_2} = \text{Porcentaje}_{\text{perm}_2} * P_{\text{gotero}_2}$

$\text{Porcentaje}_{\text{perm}_2} = 0,1 / x_2$  "----> Porcentaje permisible de la variación de la  $P_{\text{gotero}}$  para no sobrepasar 10% en la variación del caudal."

"! -----> SEGUNDO (2,1): TUBERÍAS SUB-LATERALES (PORTA-GOTEROS)"

"Teniendo en cuenta que el área de cultivo cuenta con CATORCE CALLES (Sin contar los dos árboles solos), se determina dividir el cultivo en dos secciones, cada una con SIETE CALLES."

"Como se especifica en el título inicial, este es el código de cálculo para la primera sección: SUBUNIDAD 2."

"A continuación, se asignan subíndices a cada sublateral según corresponda, teniendo en cuenta que el Diseño Agronómico arrojó un número mínimo de cuatro emisores por árbol."

"La disposición de los sublaterales se muestra en el Esquema (Ctrl+D - Diagram Window)."

"NOTA: Se decide trabajar cada grupo de sublaterales de forma independiente para realizar variaciones en el diámetro de las mangueras, buscando minimizar costos y mejorar el sistema."

"! (1) Consideraciones iniciales:"

$N_{\text{goteros}_2} = 4$  "----> Número de goteros en cada sublateral."

$N_{\text{sublaterales}_2} = N_{\text{sublaterales}_{1a5_2}} + N_{\text{sublaterales}_{6a7_2}}$  "----> Número total de sublaterales presentes en la Subunidad."

$N_{\text{sublaterales}_{1a5_2}} = 3$  "----> Número de sublaterales presentes en la calle 1 a 5."

$N_{\text{sublaterales}_{6a7_2}} = 4$  "----> Número de sublaterales presentes en la calle 5 a 6."

$\text{Long}_{\text{sublateral}_2} = \text{Long}_{\text{sublateral}_{0_2}} + (N_{\text{goteros}_2} - 1) * \text{Dist}_{\text{goteros}_2} + \text{Long}_{\text{sublateral}_{e_2}}$  [m] "----> Longitud del sublateral." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios y primer emisor separado.} { UNIVERSIDAD JAUME I }

"Donde:"

$\text{Long}_{\text{sublateral}_{0_2}} = 0,5$  [m] "----> Distancia desde el inicio del sublateral al primer emisor." {Valor aplicable a todos los sublaterales.} { MEDICIÓN }

$\text{Dist}_{\text{goteros}_2} = 1$  [m] "----> Distancia de separación entre emisores." {Valor obtenido del diseño agronómico.} { CÁLCULO D. AGRONÓMICO }

$\text{Long}_{\text{sublateral}_{e_2}} = 0,15$  [m] "----> Longitud excedente final en el sublateral." {Valor aplicable a todos los sublaterales.} { MEDICIÓN }

"! (1.1) Material tuberías sublaterales:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: MANGUERA DE 16mm Y 20mm LAS MÁS USADAS PARA LÍNEAS PORTAGOTEROS EN EL MERCADO."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

$D_i_{\text{sublateral}_2} = 14e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería sublateral."

$\epsilon_{\text{sublateral}_2} = 1e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería sublateral."

{ "OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

$D_i_{\text{sublateral}_2} = 17,6e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería sublateral."

$\epsilon_{\text{sublateral}_2} = 1,2e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería sublateral." }

"! (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"  
"DELTAH\_u <= DELTAP\_gotero"  
"Es decir:"  
"DELTAH\_u <= ( 0,1 / x ) \* P\_nominal"  
"Donde:"  
{DELTAH\_u = h\_f.laterales + h\_f.terciarias} "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías."  
"DELTAH\_u\_2 = (h\_f.sublaterales\_2 + h\_f.laterales\_2) + h\_f.terc\_2"  
h\_f.sublaterales\_2 = (N\_sublaterales\_1a5\_2\*(h\_f.sublateral\_1\_2 + h\_f.sublateral\_2\_2 + h\_f.sublateral\_3\_2 + h\_f.sublateral\_4\_2 + h\_f.sublateral\_5\_2)) + (N\_sublaterales\_6a7\_2\*( h\_f.sublateral\_6\_2 + h\_f.sublateral\_7\_2)) "----> Pérdidas de carga totales en las sublaterales de cada calle de la SUBUNIDAD 2."

!" (3) Cálculo del diámetro:"  
"Procedimiento iterativo:"  
"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."  
"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."  
"3) Comparación del valor del h\_f.sublateral.calculado con el valor de h\_f.sublateral.admisible."  
"(h\_f.sublateral.admisible\_2 + h\_f.lateral.admisible\_2) = (0,055 / x\_2)\*P\_gotero\_2" "----> Según criterio económico que busca el coste mínimo de la Instalación, y en el que se estable que: 55%DELTAH\_u = h\_f.laterales y 45%DELTAH\_u = h\_f.terciarias."  
"Entonces:"  
h\_f.sublateral.admisible\_2 = (0,0275 / x\_2)\*P\_gotero\_2  
"Se debe cumplir que:"  
"h\_f.sublateral.calculado <= h\_f.sublateral.admisible"

!" (4) Pérdidas de Carga en el Lateral:"  
"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a los goteros):"  
"Para cada grupo de Sublaterales:"  
h\_f.sublateral\_1\_2 = h\_f.SL\_1\_2 \* F\_cSL\_2  
h\_f.sublateral\_2\_2 = h\_f.SL\_2\_2 \* F\_cSL\_2  
h\_f.sublateral\_3\_2 = h\_f.SL\_3\_2 \* F\_cSL\_2  
h\_f.sublateral\_4\_2 = h\_f.SL\_4\_2 \* F\_cSL\_2  
h\_f.sublateral\_5\_2 = h\_f.SL\_5\_2 \* F\_cSL\_2  
h\_f.sublateral\_6\_2 = h\_f.SL\_6\_2 \* F\_cSL\_2  
h\_f.sublateral\_7\_2 = h\_f.SL\_7\_2 \* F\_cSL\_2

!" (4,1) Coeficiente de Christiansen (F\_c):"  
"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."  
 $F_{cSL_2} = (1 / (1 + \beta_{SL_2})) + (1 / (2 * N_{goteros_2})) + ((\beta_{SL_2} - 1)^{1/2} / (6 * N_{goteros_2}^2))$   
"Donde:"  
 $\beta_{SL_2} = 1,75 \{Tubería de PE 100\% \text{ según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} \}$  [VALORES PRÁCTICOS SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]]  
{O, Beta se puede 'CALCULAR' así:  $\beta = (37530/Re)^{16}$ }

!" (4,2) Pérdidas de carga en el Sublateral (h\_f.SL):"  
"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:"  
"Para cada grupo de laterales:" {REVISAR UNIDADES: Q [m^3/s], h\_f [mca], D[m], L[m].}  
 $h_{f.SL_1_2} = (1 / 12,1) * ((f_{sublateral_1_2} * Long_{sublateral_2} * Q_{dot\_sublateral_2}^2) / (D_{calc\_sublateral_1_2}^5))$   
 $h_{f.SL_2_2} = (1 / 12,1) * ((f_{sublateral_2_2} * Long_{sublateral_2} * Q_{dot\_sublateral_2}^2) / (D_{calc\_sublateral_2_2}^5))$   
 $h_{f.SL_3_2} = (1 / 12,1) * ((f_{sublateral_3_2} * Long_{sublateral_2} * Q_{dot\_sublateral_2}^2) / (D_{calc\_sublateral_3_2}^5))$   
 $h_{f.SL_4_2} = (1 / 12,1) * ((f_{sublateral_4_2} * Long_{sublateral_2} * Q_{dot\_sublateral_2}^2) / (D_{calc\_sublateral_4_2}^5))$   
 $h_{f.SL_5_2} = (1 / 12,1) * ((f_{sublateral_5_2} * Long_{sublateral_2} * Q_{dot\_sublateral_2}^2) / (D_{calc\_sublateral_5_2}^5))$   
 $h_{f.SL_6_2} = (1 / 12,1) * ((f_{sublateral_6_2} * Long_{sublateral_2} * Q_{dot\_sublateral_2}^2) / (D_{calc\_sublateral_6_2}^5))$   
 $h_{f.SL_7_2} = (1 / 12,1) * ((f_{sublateral_7_2} * Long_{sublateral_2} * Q_{dot\_sublateral_2}^2) / (D_{calc\_sublateral_7_2}^5))$   
"Donde:"  
"----> Diámetro interno de cada grupo de laterales."  
"Seleccionar los valores de diámetro deseados para cada grupo de sublaterales teniendo en cuenta las opciones del catálogo:"  
"  
Dcalc\_sublateral\_1\_2 = Di\_sublateral\_2  
Dcalc\_sublateral\_2\_2 = Di\_sublateral\_2  
Dcalc\_sublateral\_3\_2 = Di\_sublateral\_2

$D_{calc\_sublateral\_4\_2} = D_{i\_sublateral\_2}$   
 $D_{calc\_sublateral\_5\_2} = D_{i\_sublateral\_2}$   
 $D_{calc\_sublateral\_6\_2} = D_{i\_sublateral\_2}$   
 $D_{calc\_sublateral\_7\_2} = D_{i\_sublateral\_2}$

"----> Espesor de la pared de cada grupo de sublaterales."

"Ingresar los valores de espesor de la pared de la tubería de cada grupo de sublaterales según el modelo seleccionado:"

$\epsilon_{sublateral\_1\_2} = \epsilon_{sublateral\_2}$   
 $\epsilon_{sublateral\_2\_2} = \epsilon_{sublateral\_2}$   
 $\epsilon_{sublateral\_3\_2} = \epsilon_{sublateral\_2}$   
 $\epsilon_{sublateral\_4\_2} = \epsilon_{sublateral\_2}$   
 $\epsilon_{sublateral\_5\_2} = \epsilon_{sublateral\_2}$   
 $\epsilon_{sublateral\_6\_2} = \epsilon_{sublateral\_2}$   
 $\epsilon_{sublateral\_7\_2} = \epsilon_{sublateral\_2}$

"----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$f_{sublateral\_1\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{sublateral\_1\_2}; RR_{sublateral\_1\_2})$   
 $f_{sublateral\_2\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{sublateral\_2\_2}; RR_{sublateral\_2\_2})$   
 $f_{sublateral\_3\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{sublateral\_3\_2}; RR_{sublateral\_3\_2})$   
 $f_{sublateral\_4\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{sublateral\_4\_2}; RR_{sublateral\_4\_2})$   
 $f_{sublateral\_5\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{sublateral\_5\_2}; RR_{sublateral\_5\_2})$   
 $f_{sublateral\_6\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{sublateral\_6\_2}; RR_{sublateral\_6\_2})$   
 $f_{sublateral\_7\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{sublateral\_7\_2}; RR_{sublateral\_7\_2})$

"----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$Re_{sublateral\_1\_2} = (4 * Q_{dot\_sublateral\_2}) / (\pi * D_{calc\_sublateral\_1\_2} * \nu)$   
 $Re_{sublateral\_2\_2} = (4 * Q_{dot\_sublateral\_2}) / (\pi * D_{calc\_sublateral\_2\_2} * \nu)$   
 $Re_{sublateral\_3\_2} = (4 * Q_{dot\_sublateral\_2}) / (\pi * D_{calc\_sublateral\_3\_2} * \nu)$   
 $Re_{sublateral\_4\_2} = (4 * Q_{dot\_sublateral\_2}) / (\pi * D_{calc\_sublateral\_4\_2} * \nu)$   
 $Re_{sublateral\_5\_2} = (4 * Q_{dot\_sublateral\_2}) / (\pi * D_{calc\_sublateral\_5\_2} * \nu)$   
 $Re_{sublateral\_6\_2} = (4 * Q_{dot\_sublateral\_2}) / (\pi * D_{calc\_sublateral\_6\_2} * \nu)$   
 $Re_{sublateral\_7\_2} = (4 * Q_{dot\_sublateral\_2}) / (\pi * D_{calc\_sublateral\_7\_2} * \nu)$

"----> Caudal en el sublateral."

$Q_{dot\_sublateral\_2} = N_{goteros\_2} * Q_{dot\_gotero\_2}$  "[m<sup>3</sup>/s]"

{ $\nu = \mu / \rho$  "[m<sup>2</sup>/s] ----> Viscosidad cinemática del agua."

$\mu = \text{Viscosity}(\text{Water}; T=T_{ref}; P=P_{ref})$  "[kg/m.s] ----> Viscosidad dinámica del agua."

$\rho = \text{Density}(\text{Water}; T=T_{ref}; P=P_{ref})$  "[kg/m<sup>3</sup>] ----> Densidad del agua."

$T_{ref} = 25$  [°C] "----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

$P_{ref} = 101,12$  [kPa] "----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander."}

"----> Radio relativo del sublateral."

$RR_{sublateral\_1\_2} = \epsilon_{sublateral\_1\_2} / D_{calc\_sublateral\_1\_2}$   
 $RR_{sublateral\_2\_2} = \epsilon_{sublateral\_2\_2} / D_{calc\_sublateral\_2\_2}$   
 $RR_{sublateral\_3\_2} = \epsilon_{sublateral\_3\_2} / D_{calc\_sublateral\_3\_2}$   
 $RR_{sublateral\_4\_2} = \epsilon_{sublateral\_4\_2} / D_{calc\_sublateral\_4\_2}$   
 $RR_{sublateral\_5\_2} = \epsilon_{sublateral\_5\_2} / D_{calc\_sublateral\_5\_2}$   
 $RR_{sublateral\_6\_2} = \epsilon_{sublateral\_6\_2} / D_{calc\_sublateral\_6\_2}$   
 $RR_{sublateral\_7\_2} = \epsilon_{sublateral\_7\_2} / D_{calc\_sublateral\_7\_2}$

"! (5) Presión en el origen del sublateral:"

"Para cada grupo de laterales:"

$P_{inicial\_SL\_1\_2} = P_{media\_SL\_2} + 0,73 * h_{f.sublateral\_1\_2} + (DELTA Z_{SL\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_SL\_2\_2} = P_{media\_SL\_2} + 0,73 * h_{f.sublateral\_2\_2} + (DELTA Z_{SL\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_SL\_3\_2} = P_{media\_SL\_2} + 0,73 * h_{f.sublateral\_3\_2} + (DELTA Z_{SL\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_SL\_4\_2} = P_{media\_SL\_2} + 0,73 * h_{f.sublateral\_4\_2} + (DELTA Z_{SL\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_SL\_5\_2} = P_{media\_SL\_2} + 0,73 * h_{f.sublateral\_5\_2} + (DELTA Z_{SL\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_SL\_6\_2} = P_{media\_SL\_2} + 0,73 * h_{f.sublateral\_6\_2} + (DELTA Z_{SL\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_SL\_7\_2} = P_{media\_SL\_2} + 0,73 * h_{f.sublateral\_7\_2} + (DELTA Z_{SL\_2} / 2)$

"Donde:"

$P_{media\_SL\_2} = P_{nom\_SL\_2}$  "----> Presión media en el sublateral que debe coincidir con la presión nominal."

$P_{nom\_SL\_2} = P_{gotero\_2}$  "----> Presión nominal o presión a la que el gotero emite el caudal nominal durante el funcionamiento."

$DELTA Z_{SL\_2} = - (Pendientesub\_2 * Long\_sublateral\_2) / 100$  "----> Desnivel geométrico entre los extremos del sublateral: (+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."

$Pendientesub\_2 = 0$  [%] "----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} { MEDICIÓN }

"! -----> SEGUNDO (2,2): TUBERÍAS LATERALES (PORTA-SUBLATERALES)"

"Teniendo en cuenta que el área de cultivo cuenta con CATORCE CALLES (Sin contar los dos árboles solos), se determina dividir el cultivo en dos secciones, cada una con SIETE CALLES."

"Como se especifica en el título inicial, este es el código de cálculo para la primera sección: SUBUNIDAD 2."

"A continuación, se asignan subíndices a cada lateral del 1 al 7."

"La disposición de los laterales se muestra en el Esquema (Ctrl+D - Diagram Window)."

"NOTA: Se decide trabajar cada grupo de laterales de forma independiente para realizar variaciones en el diámetro de las mangueras, buscando minizar costos y mejorar el sistema."

"! (1) Consideraciones iniciales:"

N\_laterales\_2 = 7 "----> Número total de laterales presentes en la Subunidad."

N\_laterales\_1a5\_2 = 5 "-----> Número de laterales presentes en la calle 1 a 5."

N\_laterales\_6a7\_2 = 2 "-----> Número de laterales presentes en la calle 6 a 7."

"[m] ----> Longitud del lateral." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios y primer emisor separado.} { UNIVERSIDAD JAUME I }

"Para cada grupo de laterales:"

Long\_lateral\_1a5\_2 = Long\_lateral\_0\_2 + ( N\_sublaterales\_1a5\_2 - 1 ) \* Dist\_sublaterales\_2 + Long\_lateral\_e\_2

Long\_lateral\_6a7\_2 = Long\_lateral\_0\_2 + ( N\_sublaterales\_6a7\_2 - 1 ) \* Dist\_sublaterales\_2 + Long\_lateral\_e\_2

"Donde:"

Long\_lateral\_0\_2 = 0,5 [m] "----> Distancia desde el inicio del lateral al primer sublateral." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

Dist\_sublaterales\_2 = 5 [m] "----> Distancia de separación entre sublaterales." {Valor obtenido del diseño agronómico.} { CÁLCULO D. AGRONÓMICO }

Long\_lateral\_e\_2 = 0,2 [m] "-----> Longitud excedente final en la tubería lateral." {Valor aplicable a todos los laterales.}

"! (1.1) Material tuberías laterales:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_lateral\_2 = 14e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería lateral."

epsilon\_lateral\_2 = 1e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería lateral."

{"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_lateral\_2 = 17,6e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería lateral."

epsilon\_lateral\_2 = 1,2e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería lateral."}

{"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

Di\_lateral\_2 = 22e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería lateral."

epsilon\_lateral\_2 = 1,5e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería lateral."}

{"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_lateral\_2 = 29,4e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería lateral."

epsilon\_lateral\_2 = 1,3e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería lateral."}

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_lateral\_2 = 27,2e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería lateral."

epsilon\_lateral\_2 = 2,4e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería lateral."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_lateral\_2 = 36,8e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería lateral."

epsilon\_lateral\_2 = 1,6e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería lateral."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_lateral\_2 = 34e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería lateral."

epsilon\_lateral\_2 = 3e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería lateral."}

{ "OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"  
Di\_lateral\_2 = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_2 = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

{ "OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"  
Di\_lateral\_2 = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_2 = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

{ "OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"  
Di\_lateral\_2 = 45,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_2 = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

{ "OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_lateral\_2 = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_2 = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

{ "OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_lateral\_2 = 57e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."  
epsilon\_lateral\_2 = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

!" (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

"DELTAH\_u <= DELTAP\_gotero"

"Es decir:"

"DELTAH\_u <= ( 0,1 / x ) \* P\_nominal"

"Donde:"

{ DELTAH\_u = h\_f.laterales + h\_f.terciarias } "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías." {REVISAR: CÓMO ANALIZAR ESAS PÉRDIDAS}

DELTAH\_u\_2 = (h\_f.sublaterales\_2 + h\_f.laterales\_2) + h\_f.terc\_2

h\_f.laterales\_2 = h\_f.lateral\_1\_2 + h\_f.lateral\_2\_2 + h\_f.lateral\_3\_2 + h\_f.lateral\_4\_2 + h\_f.lateral\_5\_2 + h\_f.lateral\_6\_2 + h\_f.lateral\_7\_2 "----> Pérdidas de carga totales en las laterales de la SUBUNIDAD 2."

!" (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del h\_f.lateral.calculado con el valor de h\_f.lateral.admisible."

"(h\_f.sublateral.admisible\_2 + h\_f.lateral.admisible\_2) = (0,055 / x\_2)\*P\_gotero\_2" "----> Según criterio económico que busca el coste mínimo de la Instalación, y en el que se estable que: 55%DELTAH\_u = h\_f.laterales y 45%DELTAH\_u = h\_f.terciarias."

"Entonces:"

h\_f.lateral.admisible\_2 = (0,0275 / x\_2)\*P\_gotero\_2

"Se debe cumplir que:"

"h\_f.lateral.calculado <= h\_f.lateral.admisible"

!" (4) Pérdidas de Carga en el Lateral:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a los goteros):"

"Para cada grupo de laterales:"

h\_f.lateral\_1\_2 = h\_f.L\_1\_2 \* F\_cL\_1a5\_2

h\_f.lateral\_2\_2 = h\_f.L\_2\_2 \* F\_cL\_1a5\_2

h\_f.lateral\_3\_2 = h\_f.L\_3\_2 \* F\_cL\_1a5\_2

h\_f.lateral\_4\_2 = h\_f.L\_4\_2 \* F\_cL\_1a5\_2

h\_f.lateral\_5\_2 = h\_f.L\_5\_2 \* F\_cL\_1a5\_2

h\_f.lateral\_6\_2 = h\_f.L\_6\_2 \* F\_cL\_6a7\_2

h\_f.lateral\_7\_2 = h\_f.L\_7\_2 \* F\_cL\_6a7\_2

!" (4,1) Coeficiente de Christiansen (F\_c):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

"Para cada grupo de laterales:"

F\_cL\_1a5\_2 = ( 1 / (1 + beta\_L\_2) ) + ( 1 / (2\*N\_sublaterales\_1a5\_2) ) + ( (beta\_L\_2 - 1)^(1/2) / (6\*N\_sublaterales\_1a5\_2^2) )

F\_cL\_6a7\_2 = ( 1 / (1 + beta\_L\_2) ) + ( 1 / (2\*N\_sublaterales\_6a7\_2) ) + ( (beta\_L\_2 - 1)^(1/2) / (6\*N\_sublaterales\_6a7\_2^2) )

"Donde:"

beta\_L\_2 = 1,75 {Tubería de PE 100% según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} {VALORES PRÁCTICOS SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{O, Beta se puede 'CALCULAR' así: beta = (37530/Re)^16}

"! (4,2) Pérdidas de carga en el Lateral (h\_f.L):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:"

"Para cada grupo de laterales:" {REVISAR UNIDADES: Q [m<sup>3</sup>/s], h\_f [mca], D[m], L[m].}

$$h_{f.L_{1_2}} = (1/12,1) * ((f_{lateral_{1_2}} * Long_{lateral_{1a5_2}} * Q_{dot_{lateral1a5_2}}^2) / (Dcalc_{lateral_{1_2}}^5))$$

$$h_{f.L_{2_2}} = (1/12,1) * ((f_{lateral_{2_2}} * Long_{lateral_{1a5_2}} * Q_{dot_{lateral1a5_2}}^2) / (Dcalc_{lateral_{2_2}}^5))$$

$$h_{f.L_{3_2}} = (1/12,1) * ((f_{lateral_{3_2}} * Long_{lateral_{1a5_2}} * Q_{dot_{lateral1a5_2}}^2) / (Dcalc_{lateral_{3_2}}^5))$$

$$h_{f.L_{4_2}} = (1/12,1) * ((f_{lateral_{4_2}} * Long_{lateral_{1a5_2}} * Q_{dot_{lateral1a5_2}}^2) / (Dcalc_{lateral_{4_2}}^5))$$

$$h_{f.L_{5_2}} = (1/12,1) * ((f_{lateral_{5_2}} * Long_{lateral_{1a5_2}} * Q_{dot_{lateral1a5_2}}^2) / (Dcalc_{lateral_{5_2}}^5))$$

$$h_{f.L_{6_2}} = (1/12,1) * ((f_{lateral_{6_2}} * Long_{lateral_{6a7_2}} * Q_{dot_{lateral6a7_2}}^2) / (Dcalc_{lateral_{6_2}}^5))$$

$$h_{f.L_{7_2}} = (1/12,1) * ((f_{lateral_{7_2}} * Long_{lateral_{6a7_2}} * Q_{dot_{lateral6a7_2}}^2) / (Dcalc_{lateral_{7_2}}^5))$$

"Donde:"

"----> Diámetro interno de cada grupo de laterales."

"Seleccionar los valores de diámetro deseados para cada grupo de laterales teniendo en cuenta las opciones del catálogo:"

$$Dcalc_{lateral_{1_2}} = Di_{lateral_{2_2}}$$

$$Dcalc_{lateral_{2_2}} = Di_{lateral_{2_2}}$$

$$Dcalc_{lateral_{3_2}} = Di_{lateral_{2_2}}$$

$$Dcalc_{lateral_{4_2}} = Di_{lateral_{2_2}}$$

$$Dcalc_{lateral_{5_2}} = Di_{lateral_{2_2}}$$

$$Dcalc_{lateral_{6_2}} = Di_{lateral_{2_2}}$$

$$Dcalc_{lateral_{7_2}} = Di_{lateral_{2_2}}$$

"----> Espesor de la pared de cada grupo de laterales."

"Ingresar los valores de espesor de la pared de la tubería de cada grupo de laterales según el modelo seleccionado:"

$$\epsilon_{lateral_{1_2}} = \epsilon_{lateral_{2_2}}$$

$$\epsilon_{lateral_{2_2}} = \epsilon_{lateral_{2_2}}$$

$$\epsilon_{lateral_{3_2}} = \epsilon_{lateral_{2_2}}$$

$$\epsilon_{lateral_{4_2}} = \epsilon_{lateral_{2_2}}$$

$$\epsilon_{lateral_{5_2}} = \epsilon_{lateral_{2_2}}$$

$$\epsilon_{lateral_{6_2}} = \epsilon_{lateral_{2_2}}$$

$$\epsilon_{lateral_{7_2}} = \epsilon_{lateral_{2_2}}$$

"----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$$f_{lateral_{1_2}} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral_{1_2}}; RR_{lateral_{1_2}})$$

$$f_{lateral_{2_2}} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral_{2_2}}; RR_{lateral_{2_2}})$$

$$f_{lateral_{3_2}} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral_{3_2}}; RR_{lateral_{3_2}})$$

$$f_{lateral_{4_2}} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral_{4_2}}; RR_{lateral_{4_2}})$$

$$f_{lateral_{5_2}} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral_{5_2}}; RR_{lateral_{5_2}})$$

$$f_{lateral_{6_2}} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral_{6_2}}; RR_{lateral_{6_2}})$$

$$f_{lateral_{7_2}} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral_{7_2}}; RR_{lateral_{7_2}})$$

"----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$$Re_{lateral_{1_2}} = (4 * Q_{dot_{lateral1a5_2}}) / (\pi * Dcalc_{lateral_{1_2}} * \nu)$$

$$Re_{lateral_{2_2}} = (4 * Q_{dot_{lateral1a5_2}}) / (\pi * Dcalc_{lateral_{2_2}} * \nu)$$

$$Re_{lateral_{3_2}} = (4 * Q_{dot_{lateral1a5_2}}) / (\pi * Dcalc_{lateral_{3_2}} * \nu)$$

$$Re_{lateral_{4_2}} = (4 * Q_{dot_{lateral1a5_2}}) / (\pi * Dcalc_{lateral_{4_2}} * \nu)$$

$$Re_{lateral_{5_2}} = (4 * Q_{dot_{lateral1a5_2}}) / (\pi * Dcalc_{lateral_{5_2}} * \nu)$$

$$Re_{lateral_{6_2}} = (4 * Q_{dot_{lateral6a7_2}}) / (\pi * Dcalc_{lateral_{6_2}} * \nu)$$

$$Re_{lateral_{7_2}} = (4 * Q_{dot_{lateral6a7_2}}) / (\pi * Dcalc_{lateral_{7_2}} * \nu)$$

"----> Caudal en el Lateral."

$$Q_{dot_{lateral1a5_2}} = N_{sublaterales_{1a5_2}} * Q_{dot_{sublateral_{2_2}}} \text{ "[m}^3\text{/s]"}$$

$$Q_{dot_{lateral6a7_2}} = N_{sublaterales_{6a7_2}} * Q_{dot_{sublateral_{2_2}}} \text{ "[m}^3\text{/s]"}$$

$$V_{lat_{2_2}} = Q_{dot_{lateral6a7_2}} / ((\pi/4) * (Dcalc_{lateral_{1_2}})^2)$$

{ $\nu = \mu / \rho$  "[m<sup>2</sup>/s] ----> Viscosidad cinemática del agua."

$\mu = \text{Viscosity}(\text{Water}; T=T_{ref}; P=P_{ref})$  "[kg/m.s] ----> Viscosidad dinámica del agua."

$\rho = \text{Density}(\text{Water}; T=T_{ref}; P=P_{ref})$  "[kg/m<sup>3</sup>] ----> Densidad del agua."

$T_{ref} = 25$  [°C] ----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

$P_{ref} = 101,12$  [kPa] ----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

"----> Radio relativo del Lateral."

$$RR_{lateral_{1_2}} = \epsilon_{lateral_{1_2}} / Dcalc_{lateral_{1_2}}$$

$$RR_{lateral_{2_2}} = \epsilon_{lateral_{2_2}} / Dcalc_{lateral_{2_2}}$$

$$RR_{lateral_{3_2}} = \epsilon_{lateral_{3_2}} / Dcalc_{lateral_{3_2}}$$

$$RR_{lateral_{4_2}} = \epsilon_{lateral_{4_2}} / Dcalc_{lateral_{4_2}}$$

$$RR_{lateral_{5_2}} = \epsilon_{lateral_{5_2}} / Dcalc_{lateral_{5_2}}$$

$$RR_{lateral_{6_2}} = \epsilon_{lateral_{6_2}} / Dcalc_{lateral_{6_2}}$$

$$RR_{lateral_{7_2}} = \epsilon_{lateral_{7_2}} / Dcalc_{lateral_{7_2}}$$

!" (5) Presión en el origen del Lateral:"

"Para cada grupo de laterales:"

$$\text{Pinicial\_L\_1\_2} = \text{Pmedia\_SL\_2} + 0,73 * h\_f.\text{lateral\_1\_2} + (\text{DELTAZ\_L1a5\_2} / 2)$$

$$\text{Pinicial\_L\_2\_2} = \text{Pmedia\_SL\_2} + 0,73 * h\_f.\text{lateral\_2\_2} + (\text{DELTAZ\_L1a5\_2} / 2)$$

$$\text{Pinicial\_L\_3\_2} = \text{Pmedia\_SL\_2} + 0,73 * h\_f.\text{lateral\_3\_2} + (\text{DELTAZ\_L1a5\_2} / 2)$$

$$\text{Pinicial\_L\_4\_2} = \text{Pmedia\_SL\_2} + 0,73 * h\_f.\text{lateral\_4\_2} + (\text{DELTAZ\_L1a5\_2} / 2)$$

$$\text{Pinicial\_L\_5\_2} = \text{Pmedia\_SL\_2} + 0,73 * h\_f.\text{lateral\_5\_2} + (\text{DELTAZ\_L1a5\_2} / 2)$$

$$\text{Pinicial\_L\_6\_2} = \text{Pmedia\_SL\_2} + 0,73 * h\_f.\text{lateral\_6\_2} + (\text{DELTAZ\_L6a7\_2} / 2)$$

$$\text{Pinicial\_L\_7\_2} = \text{Pmedia\_SL\_2} + 0,73 * h\_f.\text{lateral\_7\_2} + (\text{DELTAZ\_L6a7\_2} / 2)$$

"Donde:"

"----> Desnivel geométrico entre los extremos del lateral: (+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."

$$\text{DELTAZ\_L1a5\_2} = - (\text{Pendiente\_2} * \text{Long\_lateral\_1a5\_2}) / 100$$

$$\text{DELTAZ\_L6a7\_2} = - (\text{Pendiente\_2} * \text{Long\_lateral\_6a7\_2}) / 100$$

$$\text{Pendiente\_2} = 30 [\%] \text{ "----> Pendiente del terreno." } \{ \text{Valor aproximado en campo.} \} \{ \text{MEDICIÓN} \}$$

!" -----> TERCERO: TUBERÍAS TERCIARIAS"

!" (1) Consideraciones iniciales:"

$\text{Long\_terc\_2} = \text{Long\_terc\_0\_2} + (\text{N\_laterales\_2} - 1) * \text{Dist\_laterales\_2} + \text{Long\_terc\_e\_2}$  [m] ----> Longitud de la tubería terciaria." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios y primer emisor separado.} {

UNIVERSIDAD JAUME I }

"Donde:"

$\text{Long\_terc\_0\_2} = 0,5$  [m] "----> Distancia desde el inicio de la tubería terciaria al primer lateral." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

{ $\text{N\_laterales\_2} = 7$  "----> Número de laterales en la Subunidad 2."}

$\text{Dist\_laterales\_2} = 6$  [m] "----> Distancia de separación entre los laterales."

$\text{Long\_terc\_e\_2} = 0,2$  [m] "----> Longitud excedente final en la terciaria."

!" (1.1) Material tuberías terciarias:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{ "OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

$\text{Di\_terc\_2} = 14e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$\text{epsilon\_terc\_2} = 1e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{ "OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

$\text{Di\_terc\_2} = 17,6e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$\text{epsilon\_terc\_2} = 1,2e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{ "OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

$\text{Di\_terc\_2} = 22e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$\text{epsilon\_terc\_2} = 1,5e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{ "OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

$\text{Di\_terc\_2} = 29,4e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$\text{epsilon\_terc\_2} = 1,3e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{ "OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

$\text{Di\_terc\_2} = 27,2e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$\text{epsilon\_terc\_2} = 2,4e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{ "OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

$\text{Di\_terc\_2} = 36,8e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$\text{epsilon\_terc\_2} = 1,6e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{ "OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

$\text{Di\_terc\_2} = 34e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$\text{epsilon\_terc\_2} = 3e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{}"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"  
Di\_terc\_2 = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{}"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"  
Di\_terc\_2 = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{}"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"  
Di\_terc\_2 = 45,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{}"OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_terc\_2 = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{}"OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_terc\_2 = 57e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{}!( 2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

" $\Delta H_u \leq (0,1 / x) * P_{nominal}$ "

{}!( 3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del  $h_{f,terc}$  calculado, con el valor de  $h_{f,terc}$  admisible."

$h_{f,terc.admissible\_2} = (0,1 / x_2) * P_{gotero\_2} - (h_{f.sublateral.real\_2} + h_{f.lateral.real\_2})$  "----> Será igual a la Pérdida de carga admisible en la Subunidad menos la Pérdida de carga real producida en los laterales (CALCULADOS ANTERIORMENTE)."

"Donde:"

$h_{f.sublateral.real\_2} = h_{f.sublaterales\_2}$

$h_{f.lateral.real\_2} = h_{f.laterales\_2}$

" $h_{f,terc.calculado} \leq h_{f,terc.admissible}$ "

{}!( 4) Pérdidas de Carga en la tubería Terciaria:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a las tuberías laterales):"

$h_{f,terc\_2} = h_{f,T\_2} * F_{cT\_2}$

{}!( 4,1) Coeficiente de Christiansen ( $F_c$ ):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

$F_{cT\_2} = (1 / (1 + \beta_{T\_2})) + (1 / (2 * N_{laterales\_2})) + ((\beta_{T\_2} - 1)^{1/2} / (6 * N_{laterales\_2}^2))$

"Donde:"

$\beta_{T\_2} = 1,75$  {Tubería de PE 40 según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} {VALORES PRÁCTICOS

SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{O, Beta se puede 'CALCULAR' así:  $\beta = (37530/Re)^{16}$ }

{}!( 4,2) Pérdidas de carga en la tubería Terciaria ( $h_{f,T}$ ):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:"

$h_{f,T\_2} = (1 / 12,1) * ((f_{terc\_2} * Long_{terc\_2} * Q_{dot\_terc\_2}^2) / (D_{calc\_terc\_2}^5))$  {REVISAR UNIDADES:  $Q[m^3/s]$ ,  $h_{f[mca]}$ ,  $D[m]$ ,  $L[m]$ }

"Donde:"

$D_{calc\_terc\_2} = Di_{terc\_2}$

$f_{terc\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{terc\_2}; RR_{terc\_2})$  "----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$Re_{terc\_2} = (4 * Q_{dot\_terc\_2}) / (\pi * Di_{terc\_2} * \nu)$  "----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$Q_{dot\_terc\_2} = (N_{laterales\_1a5\_2} * Q_{dot\_lateral1a5\_2}) + (N_{laterales\_6a7\_2} * Q_{dot\_lateral6a7\_2})$  "[ $m^3/s$ ] ----> Caudal en la tubería Terciaria."

$v_{terc\_2} = Q_{dot\_terc\_2} / ((\pi/4) * D_{calc\_terc\_2}^2)$  "[m/s] ----> Velocidad en la terciaria."

$RR_{terc\_2} = \epsilon_{terc\_2} / Di_{terc\_2}$  "----> Radio relativo de la Terciaria."

$Q_{dot\_terc\_2} = (N_{laterales\_1a5\_2} * Q_{dot\_lateral1a5\_2}) + (N_{laterales\_6a7\_2} * Q_{dot\_lateral6a7\_2})$  "[m<sup>3</sup>/s] ----> Caudal en la tubería Terciaria."  
 $v_{terc\_2} = Q_{dot\_terc\_2} / ((\pi/4) * D_{calc\_terc\_2}^2)$  "[m/s] ----> Velocidad en la terciaria."  
 $RR_{terc\_2} = \epsilon_{terc\_2} / D_{i\_terc\_2}$  "----> Radio relativo de la Terciaria."

"! (5) Presión en el origen de la tubería Terciaria:"

$P_{inicial\_T\_2} = P_{media\_T\_2} + 0,73 * h_{f,terc\_2} + (DELTAZ\_T\_2 / 2)$

"Donde:"

$P_{media\_T\_2} = P_{nom\_T\_2}$  "----> Presión media en la terciaria que debe coincidir con la presión nominal."

$P_{nom\_T\_2} = P_{inicial\_L\_1\_2}$  "----> Presión nominal o presión a la que el gotero emite el caudal nominal durante el funcionamiento."

$DELTAZ\_T\_2 = 0$  [m] "----> Desnivel geométrico entre los extremos de la Terciaria: (+) Densivel ascendente y (-) Densivel descendente."

"! -----> COMPROBACIÓN ADICIONAL: ANÁLISIS DE PRESIONES EN LOS GOTEROS INICIAL Y FINAL"

"Si en nuestra SUBUNIDAD de riego se tiene al inicio una presión  $P_{m\acute{a}x}$ , a medida que avanza el fluido en el sistema hasta el gotero más alejado la presión disminuirá debido a las pérdidas."

"Estas pérdidas por fricción son producidas tanto en la tuberías laterales como en la terciaria."

"! (1) Relación de presiones en la SUBUNIDAD:"

"Debido a lo mencionado anteriormente, la presión en el último gotero de la SUBUNIDAD, se presenta como:"

$P_{m\acute{a}x\_2} - P_{min\_2} = DELTAH_{u\_2}$

"Donde:"

{ $DELTAH_{u\_2} = h_{f,laterales} + h_{f,terciarias}$ } "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías." { RELACIÓN EXPLICADA ANTERIORMENTE }

$P_{m\acute{a}x\_2} = P_{gotero\_2}$  "----> Presión del gotero más cercano a la válvula de control en la SUBUNIDAD." { Suponiendo la Presión nominal máxima para efectos de seguridad }

"! (2) Criterio hidráulico más significativo:"

"La máxima diferencia permitida de caudal en una unidad de riego por goteo será de un 10% para que la uniformidad de riego se encuentre en valores razonables."

"! (3) Comprobación:"

"Cálculo del Caudal en el gotero más alejado de la válvula en la SUBUNIDAD:"

$Q_{min\_2} = K_2 * (P_{min\_2})^{x_2}$  "----> Caudal del Gotero más alejado en [L/h]."

"Finalmente, el porcentaje de variación del caudal en la SUBUNIDAD:"

$Porc.variac.caudal\_2 = (100 - ((Q_{min\_2} * 100) / Q_{gotero\_2}))$

"Se debe cumplir que:  $Porc.variac.caudal = DELTAH_{u\_2} \leq DELTAP_{gotero} \leq (0,1 / x) * P_{nominal}$ "

"!----- SUBUNIDAD 1 Y SUBUNIDAD 2 -----"

"Asegurar el correcto funcionamiento de la instalación requiere realizar los cálculos correspondiente durante la SITUACIÓN CRÍTICA DE OPERACIÓN."

"Esta condición crítica se refiere al momento en el que AMBAS Subunidades se encuentran en funcionamiento."

"El esquema se muestra en 'Diagram Window (Ctrl+D)'. La distribución de las tuberías secundarias y primaria, así como de los laterales y la nomenclatura de los mismos."

"! -----> CUARTO: TUBERÍAS SECUNDARIAS"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

\*\* Como se muestra en 'Diagram Window' (Ctrl+D) se planea alimentar la tubería secundaria desde un punto intermedio."

\*\* La tubería secundaria debe llegar a las cajas con llaves de paso presentes en el cultivo."

"! (1,1) Proceso de cálculo:" { UNIVERSIDAD JAUME I }

"--- Calcular cada tramo por separado, considerando ambas ramas como simétricas o idénticas, lo que permite calcular sólo una de ellas."

"--- El punto de alimentación debe tener la presión mayor calculada y el doble de caudal."

"--- Ambos ramales tienen las mismas dimensiones."

"! (1,2) Longitud de la tubería secundaria:"

$Long_{sec} = Long_{sec1} + Long_{sec2}$  "[m] ----> Longitud de la tubería secundaria."

"Donde:"

Long\_sec1 = 1 [m] "-----> Longitud del tramo de tubería secundaria que alimenta a la Subunidad 1."  
Long\_sec2 = 43 [m] "-----> Longitud del tramo de tubería secundaria que alimenta a la Subunidad 2."

"NOTA: Se calculará todo para un sólo tramo, y en las ecuaciones que sea necesario, se tendrán en cuenta los dos."

"! (1.3) Material tuberías secundarias:"

"\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

"\* Consideraciones: TIE COILS."

"\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

"\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_sec = 14e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_sec = 17,6e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1,2e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

Di\_sec = 22e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1,5e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."

{"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_sec = 29,4e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1,3e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_sec = 27,2e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 2,4e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_sec = 36,8e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1,6e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_sec = 34e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 3e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_sec = 36,2e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1,9e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"

Di\_sec = 46e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 2e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"

Di\_sec = 45,2e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 2,4e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_sec = 58e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 2,5e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_sec = 57e-3 [m] "-----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 3e-3 [m] "-----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

"! (2) Límite para la velocidad de circulación del agua:"

"Generalmente, se establece una velocidad máxima del fluido de 3 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad."  
"Sin embargo, como en el sistema de distribución se trabaja con presiones controladas (como si se tratase de una bomba), se recomienda un rango de velocidades de 0,3 a 2,5 [m/s]."

"Entonces, se debe cumplir que:"

"V\_min.adm <= V\_sec1 <= V\_máx.adm"

"V\_min.adm <= V\_sec2 <= V\_máx.adm"

"Donde:"

$V_{sec1} = Q_{dot\_sec1} / ((\pi/4) * D_{calc\_sec1}^2)$  "[m/s] -----> Velocidad del agua en el TRAMO 1 de la tubería secundaria."

$V_{sec2} = Q_{dot\_sec2} / ((\pi/4) * D_{calc\_sec1}^2)$  "[m/s] -----> Velocidad del agua en el TRAMO 2 de la tubería secundaria."

$V_{sec.min.adm} = 0,3$  [m/s] "-----> Velocidad mínima admisible del agua en la tubería secundaria." {Valor para impedir la deposición en la tubería de cualquier tipo de partícula o impureza.} { FAO }

$V_{sec.máx.adm} = 2,5$  [m/s] "-----> Velocidad máxima admisible del agua en la tubería secundaria." {Valor que pretende contribuir a evitar los fenómenos de golpe de ariete y cavitación.} { FAO }

"Si esta condición no se cumple, se debe SELECCIONAR OTRO DIÁMETRO DE TUBERÍA."

"! (3) Pérdidas de carga en la tubería secundaria (h\_f.sec):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que las pérdidas de carga en el TRAMO 1 y TRAMO 2 de la tubería secundaria es:"

$h_{f.sec1} = (1 / 12,1) * ((f_{sec1} * Long_{sec1} * Q_{dot\_sec1}^2) / (D_{calc\_sec1}^5))$  {REVISAR UNIDADES: Q[m<sup>3</sup>/s], h\_f[mca], D[m], L[m].}

$h_{f.sec2} = (1 / 12,1) * ((f_{sec2} * Long_{sec2} * Q_{dot\_sec2}^2) / (D_{calc\_sec1}^5))$

$h_{f.sec} = h_{f.sec2}$  "-----> Pérdidas mayores en la tubería secundaria."

"Donde:"

$D_{calc\_sec1} = D_{i\_sec}$

$\epsilon_{sec1} = \epsilon_{sec}$

"-----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$f_{sec1} = \text{MoodyChart}(Re_{sec1}; RR_{sec1})$

$f_{sec2} = \text{MoodyChart}(Re_{sec2}; RR_{sec1})$

"-----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$Re_{sec1} = (4 * Q_{dot\_sec1}) / (\pi * D_{calc\_sec1} * \nu)$

$Re_{sec2} = (4 * Q_{dot\_sec2}) / (\pi * D_{calc\_sec1} * \nu)$

$RR_{sec1} = \epsilon_{sec1} / D_{calc\_sec1}$  "-----> Rugosidad relativa del TRAMO 1 de la tubería secundaria."

{ $\nu = \mu / \rho$  "[m<sup>2</sup>/s] -----> Viscosidad cinemática del agua."}

$\mu = \text{Viscosity}(\text{Water}; T=T_{ref}; P=P_{ref})$  "[kg/m.s] -----> Viscosidad dinámica del agua."

$\rho = \text{Density}(\text{Water}; T=T_{ref}; P=P_{ref})$  "[kg/m<sup>3</sup>] -----> Densidad del agua."

$T_{ref} = 25$  [°C] "-----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

$P_{ref} = 101,12$  [kPa] "-----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

$Q_{dot\_sec1} = Q_{dot\_terc\_1}$  "[m<sup>3</sup>/s] -----> Caudal en el TRAMO 1 de la tubería secundaria."

$Q_{dot\_sec2} = Q_{dot\_terc\_2}$  "[m<sup>3</sup>/s] -----> Caudal en el TRAMO 1 de la tubería secundaria."

$Q_{dot\_sec} = Q_{dot\_sec1} + Q_{dot\_sec2}$  "[m<sup>3</sup>/s] -----> Caudal en la tubería secundaria."

"! (4) Presión en el origen de la tubería secundaria:"

"Debido a que la tubería se alimenta desde un punto intermedio, y que se debe asegurar que funcione para la CONDICIÓN CRÍTICA: Las DOS Subunidades en operación, se tiene que:"

$P_{inicial\_sec1} = P_{inicial\_T\_1} + (h_{f.sec1}) + (DELTAZ_{sec} / 2)$

$P_{inicial\_sec2} = P_{inicial\_T\_2} + (h_{f.sec2}) + (DELTAZ_{sec} / 2)$

$P_{inicial\_sec} = P_{inicial\_sec2}$

"Donde:"

$X = P_{inicial\_T\_2}$

$Y = P_{inicial\_T\_1}$

$Z = P_{inicial\_T\_1}$

$P_{inicial.mayor\_terc} = \text{if}(P_{inicial\_T\_1}; P_{inicial\_T\_2}; X; Y; Z)$  "-----> Presión inicial MAYOR entre la P.inicial de la terciaria de la SU1 y la P.inicial de la terciaria de la SU2." {Así se asegura que el sistema funcione correctamente para el caso donde la

subunidad con mayor presión inicial en la tubería terciaria esté operando. También si se opera sólo la subunidad con presión inicial en la terciaria menor, con la válvula de control de presión al origen de ésta, se puede regular el exceso de presión.} {

TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE }

$DELTAZ_{sec} = 0$  [m] "-----> Desnivel geométrico entre los extremos de la Secundaria: (+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."

"! -----> QUINTO: TUBERÍA PRIMARIA"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

\*\* En el sistema sólo se requiere una tubería primaria que alimente en el intermedio a la tubería secundaria."

"! (1,1) Longitud de la tubería primaria:"

Long\_prim = 4 [m] "----> Longitud de la tubería primaria." {Valor determinado a partir de estimaciones con el propietario.} {  
MEDICIÓN }

"! (1,2) Material tubería primaria:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_prim = 14e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_prim = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

Di\_prim = 22e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."

{"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_prim = 29,4e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_prim = 27,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_prim = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_prim = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_prim = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"

Di\_prim = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"

Di\_prim = 45,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_prim = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_prim = 57e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

"! (2) Límite para la velocidad de circulación del agua:"

"Generalmente, se establece una velocidad máxima del fluido de 3 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad."  
"Sin embargo, como en el sistema de distribución se trabaja con presiones controladas (como si se tratase de una bomba), se recomienda un rango de velocidades de 0,3 a 2,5 [m/s]."

"Entonces, se debe cumplir que:"

$$V_{\text{min.adm}} \leq V_{\text{prim}} \leq V_{\text{máx.adm}}$$

"Donde:"

$V_{\text{prim}} = Q_{\text{dot.prim}} / ((\pi/4) * D_{\text{calc.prim}}^2)$  "[m/s] ----> Velocidad del agua en la tubería primaria."

$V_{\text{prim.min.adm}} = 0,3$  [m/s] "----> Velocidad mínima admisible del agua en la tubería primaria." {Valor para impedir la deposición en la tubería de cualquier tipo de partícula o impureza.} { FAO }

$V_{\text{prim.máx.adm}} = 2,5$  [m/s] "----> Velocidad máxima admisible del agua en la tubería primaria." {Valor que pretende contribuir a evitar los fenómenos de golpe de ariete y cavitación.} { FAO }

"Si esta condición no se cumple, se debe SELECCIONAR OTRO DIÁMETRO DE TUBERÍA."

"! (3) Pérdidas de carga en la tubería primaria ( $h_{f,prim}$ ):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que las pérdidas de carga en la tubería primaria son:"

$$h_{f,prim} = (1 / 12,1) * ((f_{prim} * Long_{prim} * Q_{dot.prim}^2) / (D_{calc.prim}^5))$$
 {REVISAR UNIDADES: Q[m<sup>3</sup>/s],  $h_f$ [mca], D[m], L[m].}

"Donde:"

$$D_{calc.prim} = D_{i.prim}$$

$$\{epsilon_{prim} = epsilon_{prim}\}$$

$f_{prim} = \text{MoodyChart}(Re_{prim}; RR_{prim})$  "----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$Re_{prim} = (4 * Q_{dot.prim}) / (\pi * D_{calc.prim} * nu)$  "----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$RR_{prim} = epsilon_{prim} / D_{calc.prim}$  "----> Rugosidad relativa de la tubería primaria"

$Q_{dot.prim} = Q_{dot.sec}$  "[m<sup>3</sup>/s] ----> Caudal en la tubería primaria."

"! (4) Presión en el origen de la tubería primaria:"

"Para la CONDICIÓN CRÍTICA: Las DOS Subunidades en operación, se tiene que:"

$$P_{inicial.prim} = P_{inicial.sec} + h_{f,prim} + (DELTA Z_{prim} / 2)$$

"Donde:"

"----> Desnivel geométrico entre los extremos de la Primaria: (+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."

$DELTA Z_{prim} = -(Pendiente_{prim} * Long_{prim}) / 100$

$Pendiente_{prim} = 10$  [%] "----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} { MEDICIÓN }

"! -----> SEXTO: CABEZAL DE RIEGO"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"El sistema de riego va a contar con un cabezal de riego sin equipo de bombeo."

"! (1,1) Elementos en el cabezal de riego:"

"Los elementos que conforman el cabezal de riego por goteo en este sistema son:"

\*\* Unidad de filtrado: Filtros de anillos manuales."

\*\* Válvulas: 1. Válvulas manuales para el cierre de líneas y 2. Válvulas de control de presión."

"! (2) Pérdidas de carga en el cabezal de riego:"

"A las pérdidas de carga producidas en las tuberías hay que añadir las pérdidas ocasionadas en las piezas especiales (si no se han incluido en el cálculo de las pérdidas en tuberías) y en los componentes del cabezal."

"Entonces, las pérdidas de carga en el cabezal están definidas como:"

$$h_{f.cabezal} = DELTA h_{f.comp.cabezal} + DELTA h_{accesorios}$$
 "[mca] ----> Pérdidas de carga en el cabezal." {Valor que debe incluir las pérdidas por accesorios en todo el sistema.} { TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE }

"! (2,1) Pérdidas de carga de los componentes del cabezal:"

"Los fabricantes de los elementos deben proveer los valores correspondientes; sin embargo, esto casi nunca sucede."

"Debido a esto, los siguientes son valores aproximados para ser usados en el diseño:"

$h_{f.filtroanillas} = 2$  [mca] "----> Pérdidas de carga en el filtro de anillos manual." {Se toma el valor promedio en el rango para asegurar el diseño.} { TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE }

$h_{f.regpres} = 5$  [mca] "----> Pérdidas de carga en la reguladora de presión." {Se toma el valor promedio en el rango para asegurar el diseño.} { TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE }

$h_{f.valv} = 2$  [mca] "----> Pérdidas de carga en la válvula de control de caudal." {Se toma el valor promedio en el rango para asegurar el diseño.} { TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE }

"Finalmente, se tiene que:"

$\Delta h_{f,comp.cabezal} = h_{f.filtroanillas} + (h_{f.regpres}) + (h_{f.valv})$  "-----> Pérdidas de carga totales de los componentes del cabezal de riego."

"Nota: Se pretende usar:"

"(UNA) Válvula manual de PVC: Una al inicio del cabezal."

"(UNA) Válvula hidráulica para controlar la presión de salida en el cabezal de riego."

"! (2,1) Pérdidas de carga por accesorios del sistema ( $\Delta h_{f,accesorios}$ ):"

"Como no se han tenido en cuenta, debido al carácter despreciable que poseen, se deben revisar por seguridad:"

$\Delta h_{f,accesorios} = h_{acces.sublat} + h_{acces.lat} + h_{acces.terc} + h_{acces.sec}$  "-----> Suma de las pérdidas de carga por accesorios en las DOS Subunidades."

"Más específicamente:" {REVISAR UNIDADES:  $Q[m^3/s]$ ,  $h[mca]$ ,  $D[m]$ }

$h_{acces.sublat} = h_{acces.sublat_1} + h_{acces.sublat_2}$

{Teniendo en cuenta que la velocidad es la que entra a la tubería a través del accesorio.}

$h_{acces.sublat_1} = K_{sublat_1} * ((V_{lat_1}^2)/(2*g))$  "[mca] -----> Pérdidas de carga localizadas en accesorios de las tuberías sublaterales de la SU1."

$h_{acces.sublat_2} = K_{sublat_2} * ((V_{lat_2}^2)/(2*g))$  "[mca] -----> Pérdidas de carga localizadas en accesorios de las tuberías sublaterales de la SU2."

$A = V_{terc_2}$

$B = V_{terc_1}$

$C = V_{terc_1}$

$V_{terc} = \text{if}(V_{terc_1}; V_{terc_2}; A; B; C)$

$h_{acces.lat} = K_{lat} * (V_{terc_1}^2)/(2*g)$  "[mca] -----> Pérdidas de carga localizadas en accesorios de la tubería lateral."

$h_{acces.terc} = K_{terc} * (V_{sec1}^2)/(2*g)$  "[mca] -----> Pérdidas de carga localizadas en accesorios de la tubería terciaria."

$h_{acces.sec} = K_{sec} * (V_{prim}^2)/(2*g)$  "[mca] -----> Pérdidas de carga localizadas en accesorios de la tubería secundaria."

"Donde los valores específicos para ACCESORIOS EN POLIETILENO (PE):"

$K_{sublat_1} = 24*(1,8)$  "-----> Coef. de resistencia." {Valor de K para las 24 UNIONES de cada sublateral a la línea lateral correspondiente de la SU1.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }

$K_{sublat_2} = 23*(1,8)$  "-----> Coef. de resistencia." {Valor de K para las 23 UNIONES de cada sublateral a la línea lateral correspondiente de la SU2.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }

$K_{lat} = 14*(0,3)$  "-----> Coef. de resistencia." {Valor de K para las 14 UNIONES de cada lateral a la línea terciaria que conforman las dos SubUnidades.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }

$K_{terc} = 2*(10)$  "-----> Coef. de resistencia." {Valor de K para las 2 válvulas de macho al inicio de cada terciaria.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }

$K_{sec} = 1*(1,8)$  "-----> Coef. de resistencia." {Valor de K para la conexión en T de la tubería primaria a las secundaria.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }

"Siendo:"

$g = 9,73 [m/s^2]$  "-----> Aceleración de la gravedad en Colombia."

"! (3) Presión en el origen del Cabezal:"

"Esta será la presión de servicio para alimentar correctamente todo el sistema de riego y asegurar su funcionamiento."

"Con este valor, se inicia el cálculo del Sistema de Transporte."

$P_{inicial\_cabezal} = P_{inicial\_prim} + h_{f.cabezal}$  "[mca] -----> Presión de servicio."

"!----- FASE DOS: SISTEMA DE TRANSPORTE -----  
----- "

"Una vez realizados los cálculos del (1) Sistemas de distribución, se inicia el diseño del (2) Sistema de transporte."

"! -----> PRIMERO: TUBERÍA DE TRANSPORTE"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"\* Como se muestra en 'Diagram Window' el punto (1) corresponde a la superficie del agua en el tanque; y, el punto (2) a la entrada del cabezal."

"\* Las características topográficas del sistema son adecuadas para la conducción por gravedad."

"\* Se decide trabajar con válvulas al inicio y final del recorrido (Revisar consideraciones presentadas en el Cabezal de Riego), para controlar la distribución inicial y la presión al final del sistema de transporte."

"! (1,1) Cotas geométricas (altimétricas):"

$z_1 = 10 [m]$  "-----> Cota geométrica del Punto (1)" {Valor correspondiente a la altura del tanque.}

$z_2 = 0 [m]$  "-----> Cota geométrica del Punto (2)" {Valor correspondiente a la altura del cabezal de riego.}

"!(1,2) Longitud de la tubería de transporte:"

$Long_{trans} = 100 [m]$  {Longitud real de la tubería necesaria del punto (1) al punto (2).} { MEDICIÓN }

!" (1,3) Material tubería de transporte:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_trans = 14e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_trans = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

Di\_trans = 22e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_trans = 29,4e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1,3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_trans = 27,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_trans = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_trans = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_trans = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"

Di\_trans = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"

Di\_trans = 45,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_trans = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_trans = 57e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

!" (2) Pérdidas de carga totales en la tubería de transporte:"

"Las pérdidas de carga totales son la suma de las pérdidas de carga por fricción y por accesorios, así:"

H\_f = h\_fricción + h\_accesorios "[mca] ----> Pérdidas de carga totales en la tubería de transporte."

"! (2,1) Pérdidas de carga por fricción (h\_fricción):"

"Las pérdidas de carga por fricción se determinan a partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach:"

$$h_{\text{fricción}} = (1 / 12,1) * ((f_{\text{trans}} * \text{Long}_{\text{trans}} * Q_{\text{dot}_{\text{trans}}}^2) / (D_{\text{calc}_{\text{trans}}}^5)) \quad \{\text{REVISAR UNIDADES: } Q[\text{m}^3/\text{s}], h_f[\text{mca}], D[\text{m}], L[\text{m}]\}$$

"Donde:"

$$D_{\text{calc}_{\text{trans}}} = D_{\text{i}_{\text{trans}}}$$

$$\{\epsilon_{\text{trans}} = \epsilon_{\text{trans}}\}$$

$f_{\text{trans}} = \text{MoodyChart}(Re_{\text{trans}}; RR_{\text{trans}})$  "----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$Re_{\text{trans}} = (4 * Q_{\text{dot}_{\text{trans}}}) / (\pi * D_{\text{calc}_{\text{trans}}} * \nu)$  "----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$RR_{\text{trans}} = \epsilon_{\text{trans}} / D_{\text{calc}_{\text{trans}}}$  "----> Rugosidad relativa de la tubería de transporte."

$\{\nu = \mu / \rho\}$  "[m<sup>2</sup>/s] ----> Viscosidad cinemática del agua."

$\mu = \text{Viscosity}(\text{Water}; T=T_{\text{ref}}; P=P_{\text{ref}})$  "[kg/m.s] ----> Viscosidad dinámica del agua."

$\rho = \text{Density}(\text{Water}; T=T_{\text{ref}}; P=P_{\text{ref}})$  "[kg/m<sup>3</sup>] ----> Densidad del agua."

$T_{\text{ref}} = 25$  [°C] "----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

$P_{\text{ref}} = 101,12$  [kPa] "----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

$Q_{\text{dot}_{\text{trans}}} = Q_{\text{dot}_{\text{prim}}}$  "[m<sup>3</sup>/s] ----> Caudal transportado en la tubería de transporte."

"! (2,2) Pérdidas de carga por accesorios (h\_accesorios):"

"Las pérdidas de carga localizadas, se determinan a partir de la siguiente ecuación:"

$$h_{\text{accesorios}} = K_{\text{trans}} * (V_2^2 / (2 * g)) \quad [\text{mca}] \quad \text{----> Pérdidas de carga localizadas en accesorios.}"$$

"Donde:"

$K_{\text{trans}} = 1 * (0,2)$  "----> Coef. de resistencia." {Valor de K para Válvulas manuales de PVC.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }

"Nota: Se pretende usar una válvula manual para el cierre al inicio de la línea de transporte."

"! (3) Ecuación de la Energía:"

"A continuación, mediante la ecuación de la energía se determina la altura del tanque de almacenamiento (H\_1) para el correcto funcionamiento del sistema:"

$$H_1 = H_2 + H_f \quad [\text{mca}]$$

"Donde:"

$H_1 = z_1$  "[mca]----> Energía en el Punto (1)." {Valor teniendo en cuenta el posicionamiento del Punto (1) donde:  $P_1 = P_{\text{atm}} = 0$  y  $v_1 = 0$ .}

$H_2 = (P_2 / \gamma) + ((V_2^2) / (2 * g)) + z_2$  "[mca]----> Energía en el Punto (2)." {Valor teniendo en cuenta el posicionamiento del Punto (2).} {REVISAR UNIDADES:  $P_2$  [Pa],  $V_2$  [m/s<sup>2</sup>],  $z$  [m].}

"Siendo:"

$\gamma = \rho * g$  "----> Gravedad específica del agua."

$\{\rho = \text{Density}(\text{Water}; T=T_{\text{ref}}; P=P_{\text{ref}})\}$  "----> Densidad del agua a la temperatura y presión de referencia."

$\{g = 9,78$  [m/s<sup>2</sup>] "----> Gravedad en Colombia."}

$P_2.mca = P_2 * (1[\text{mca}] / 9806,65 [\text{Pa}])$  "----> Presión de operación en el Punto (2) en [mca]."

$P_2 = P_{\text{inicial}_{\text{cabezal}}} * (9806,65 [\text{Pa}] / 1 [\text{mca}])$  "[Pa] ----> La presión de operación mínima en el punto (2)." {Valor convertido a [Pa] y teniendo en cuenta que la presión necesaria en el punto (2) es la presión del cabezal.}

"NOTA: Para precisar si la conducción está bien diseñada o no, se deben revisar los rangos de velocidad mínimos y máximos permitidos."

"! (4) Límite para la velocidad de circulación del agua:"

"Generalmente, se establece una velocidad máxima del fluido de 3 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad."

"Sin embargo, se recomienda un rango de velocidades de 0,3 a 2,5 [m/s], para asegurar el funcionamiento adecuado de la instalación"

"Entonces, se debe cumplir que:"

$$V_{\text{min.adm}} \leq V_{\text{transporte}} \leq V_{\text{máx.adm}}$$

"Donde:"

$$V_{\text{transporte}} = V_2$$

$V_{\text{transporte}} = Q_{\text{dot}_{\text{trans}}} / ((\pi/4) * D_{\text{calc}_{\text{trans}}}^2)$  "[m/s] ----> Velocidad del agua en la tubería de transporte."

$V_{\text{min.adm}} = 0,3$  [m/s] "----> Velocidad mínima admisible del agua en la tubería de transporte." {Valor para impedir la deposición en la tubería de cualquier tipo de partícula o impureza.} { FAO }

$V_{\text{máx.adm}} = 2,5$  [m/s] "----> Velocidad máxima admisible del agua en la tubería de transporte." {Valor que pretende contribuir a evitar los fenómenos de golpe de ariete y cavitación.} { FAO }

"Si esta condición no se cumple, se debe SELECCIONAR OTRO DIÁMETRO DE TUBERÍA."

"!----- | EXTRA | LONGITUD TOTAL DE TUBERÍAS -----"

"! (1) TUBERÍAS SUB-LATERALES (LÍNEAS DE GOTEO ; PORTA-GOTEROS)"

Long\_total\_SL = Long\_total\_SL\_1 + Long\_total\_SL\_2 "-----> Longitud total de Línea de goteo."

"Donde:"

Long\_total\_SL\_1 = Long\_sublateral\_1 \* 24 "-----> Longitud total de la Línea de goteo en la Subunidad 1."

Long\_total\_SL\_2 = Long\_sublateral\_2 \* 23 "-----> Longitud total de la Línea de goteo en la Subunidad 2."

"! (2) TUBERÍAS LATERALES (PORTA-SUBLATERALES)"

Long\_total\_L = Long\_total\_L\_1 + Long\_total\_L\_2 "-----> Longitud total de la línea lateral."

"Donde:"

Long\_total\_L\_1 = (N\_laterales\_1a4\_1 \* Long\_lateral\_1a4\_1) + (N\_laterales\_5a6\_1 \* Long\_lateral\_5a6\_1) + (N\_laterales\_7\_1 \* Long\_lateral\_7\_1) "-----> Longitud total de las laterales en la Subunidad 1."

Long\_total\_L\_2 = (N\_laterales\_1a5\_2 \* Long\_lateral\_1a5\_2) + (N\_laterales\_6a7\_2 \* Long\_lateral\_6a7\_2) "-----> Longitud total de las laterales en la Subunidad 2."

"! (3) TUBERÍAS TERCIARIAS"

Long\_total\_T = Long\_terc\_1 + Long\_terc\_2 "-----> Longitud total de la línea terciaria."

"! (4) TUBERÍA SECUNDARIA"

Long\_total\_S = Long\_sec "-----> Longitud total de la línea secundaria."

"! (5) TUBERÍA PRIMARIA"

Long\_total\_P = Long\_prim "-----> Longitud total de la línea primaria."

"! (6) TUBERÍA DE TRANSPORTE"

Long\_total\_TRANS = Long\_trans "-----> Longitud total de la línea de transporte."

Figura K-4. Código EES - Resultados en el diseño hidráulico disposición de anillos.

#### SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

A = 0,269 [adimensional]

$\beta_{L,1}$  = 1,75 [adimensional]

$\beta_{SL,1}$  = 1,75 [adimensional]

$\beta_{T,1}$  = 1,75 [adimensional]

C = 0,2807 [adimensional]

Dcalc<sub>lateral,1,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,2,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,3,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,4,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,5,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,6,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,7,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sec1</sub> = 0,022 [m]

Dcalc<sub>sublateral,1,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,2,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,3,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,4,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,5,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,6,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,7,2</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>terc,2</sub> = 0,022 [m]

B = 0,2807 [adimensional]

$\beta_{L,2}$  = 1,75 [adimensional]

$\beta_{SL,2}$  = 1,75 [adimensional]

$\beta_{T,2}$  = 1,75 [adimensional]

Dcalc<sub>lateral,1,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,2,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,3,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,4,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,5,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,6,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>lateral,7,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>prim</sub> = 0,022 [m]

Dcalc<sub>sublateral,1,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,2,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,3,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,4,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,5,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,6,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>sublateral,7,1</sub> = 0,014 [m]

Dcalc<sub>terc,1</sub> = 0,022 [m]

Dcalc<sub>trans</sub> = 0,0294 [m]

$$\Delta h_{\text{accesorios}} = 0,1839 \text{ [mca]}$$

$$\Delta H_{u,1} = 0,3475 \text{ [mca]}$$

$$\Delta P_{\text{gotero},1} = 10000 \text{ [mca]}$$

$$\Delta Z_{L1a4,1} = -4,71 \text{ [m]}$$

$$\Delta Z_{L5a6,1} = -3,21 \text{ [m]}$$

$$\Delta Z_{L7,1} = -1,71 \text{ [m]}$$

$$\Delta Z_{\text{sec}} = 0 \text{ [m]}$$

$$\Delta Z_{SL,2} = 0 \text{ [m]}$$

$$\Delta Z_{T,2} = 0 \text{ [m]}$$

$$\text{Dist}_{\text{goteros},2} = 1 \text{ [m]}$$

$$\text{Dist}_{\text{laterales},2} = 6 \text{ [m]}$$

$$\text{Dist}_{\text{sublaterales},2} = 5 \text{ [m]}$$

$$\text{Dilateral},2 = 0,014 \text{ [m]}$$

$$\text{Disec} = 0,022 \text{ [m]}$$

$$\text{Disublateral},2 = 0,014 \text{ [m]}$$

$$\text{Diterc},2 = 0,022 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},1,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},2,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},3,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},4,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},5,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},6,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},7,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{prim}} = 0,0015 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sec}} = 0,0015 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},1,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},2,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},3,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},4,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},5,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},6,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},7,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{terc},2} = 0,0015 \text{ [m]}$$

$$F_{cL,1a4,1} = 0,4977 \text{ [adimensional]}$$

$$F_{cL,5a6,1} = 0,5463 \text{ [adimensional]}$$

$$F_{cL,7,1} = 0,6497 \text{ [adimensional]}$$

$$F_{cSL,2} = 0,4977$$

$$F_{cT,2} = 0,438 \text{ [adimensional]}$$

$$f_{\text{lateral},1,2} = 0,04713 \text{ [adimensional]}$$

$$f_{\text{lateral},2,2} = 0,04713 \text{ [adimensional]}$$

$$f_{\text{lateral},3,2} = 0,04713 \text{ [adimensional]}$$

$$f_{\text{lateral},4,2} = 0,04713 \text{ [adimensional]}$$

$$\Delta h_{\text{f.comp.cabezal}} = 9 \text{ [mca]}$$

$$\Delta H_{u,2} = 0,3188 \text{ [mca]}$$

$$\Delta P_{\text{gotero},2} = 10000 \text{ [mca]}$$

$$\Delta Z_{L1a5,2} = -3,21 \text{ [m]}$$

$$\Delta Z_{L6a7,2} = -4,71 \text{ [m]}$$

$$\Delta Z_{\text{prim}} = -0,4 \text{ [m]}$$

$$\Delta Z_{SL,1} = 0 \text{ [m]}$$

$$\Delta Z_{T,1} = -3,67 \text{ [m]}$$

$$\text{Dist}_{\text{goteros},1} = 1 \text{ [m]}$$

$$\text{Dist}_{\text{laterales}} = 6 \text{ [m]}$$

$$\text{Dist}_{\text{sublaterales},1} = 5 \text{ [m]}$$

$$\text{Dilateral},1 = 0,014 \text{ [m]}$$

$$\text{Diprim} = 0,022 \text{ [m]}$$

$$\text{Disublateral},1 = 0,014 \text{ [m]}$$

$$\text{Diterc},1 = 0,022 \text{ [m]}$$

$$\text{Ditrans} = 0,0294 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},1,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},2,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},3,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},4,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},5,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},6,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{lateral},7,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sec}} = 0,0015 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},1,2} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},2,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},3,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},4,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},5,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},6,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{sublateral},7,1} = 0,001 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{terc},1} = 0,0015 \text{ [m]}$$

$$\varepsilon_{\text{trans}} = 0,0013 \text{ [m]}$$

$$F_{cL,1a5,2} = 0,5463 \text{ [adimensional]}$$

$$F_{cL,6a7,2} = 0,4977 \text{ [adimensional]}$$

$$F_{cSL,1} = 0,4977 \text{ [adimensional]}$$

$$F_{cT,1} = 0,438 \text{ [adimensional]}$$

$$f_{\text{lateral},1,1} = 0,03535 \text{ [adimensional]}$$

$$f_{\text{lateral},2,1} = 0,03535 \text{ [adimensional]}$$

$$f_{\text{lateral},3,1} = 0,03535 \text{ [adimensional]}$$

$$f_{\text{lateral},4,1} = 0,03535 \text{ [adimensional]}$$

$$f_{\text{lateral},5,1} = 0,04713 \text{ [adimensional]}$$

$f_{lateral,5,2} = 0,04713$  [adimensional]  
 $f_{lateral,6,2} = 0,03535$  [adimensional]  
 $f_{lateral,7,2} = 0,03535$  [adimensional]  
 $f_{sec1} = 0,08753$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,1,1} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,2,1} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,3,1} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,4,1} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,5,1} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,6,1} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,7,1} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{terc,1} = 0,08753$  [adimensional]  
 $f_{trans} = 0,07118$  [adimensional]  
 $\gamma = 9701$  [N/m<sup>3</sup>]  
 $H_2 = 18,63$  [mca]  
 $h_{acces.sec} = 0,02794$  [mca]  
 $h_{acces.sublat,1} = 0,02962$  [mca]  
 $h_{acces.terc} = 0,08096$  [mca]  
 $H_i = 1,1701$  [mca]  
 $h_{f.filtroanillas} = 2$  [mca]  
 $h_{f.lateral.admisible,2} = 2750$  [mca]  
 $h_{f.lateral.real,2} = 0,06449$  [mca]  
 $h_{f.laterales,2} = 0,06449$  [mca]  
 $h_{f.lateral,1,2} = 0,00753$  [mca]  
 $h_{f.lateral,2,2} = 0,00753$  [mca]  
 $h_{f.lateral,3,2} = 0,00753$  [mca]  
 $h_{f.lateral,4,2} = 0,00753$  [mca]  
 $h_{f.lateral,5,2} = 0,00753$  [mca]  
 $h_{f.lateral,6,2} = 0,01342$  [mca]  
 $h_{f.lateral,7,2} = 0,01342$  [mca]  
 $h_{f.L,1,2} = 0,01378$  [mca]  
 $h_{f.L,2,2} = 0,01378$  [mca]  
 $h_{f.L,3,2} = 0,01378$  [mca]  
 $h_{f.L,4,2} = 0,01378$  [mca]  
 $h_{f.L,5,2} = 0,01378$  [mca]  
 $h_{f.L,6,2} = 0,02696$  [mca]  
 $h_{f.L,7,2} = 0,02696$  [mca]  
 $h_{f.regpres} = 5$  [mca]  
 $h_{f.sec1} = 0,0160$  [mca]  
 $h_{f.SL,1,1} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,2,1} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,3,1} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,4,1} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,5,1} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,6,1} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,7,1} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.sublateral.admisible,1} = 2750$  [mca]  
 $h_{f.sublateral.real,1} = 0,01872$

$f_{lateral,6,1} = 0,04713$  [adimensional]  
 $f_{lateral,7,1} = 0,07069$  [adimensional]  
 $f_{prim} = 0,08551$  [adimensional]  
 $f_{sec2} = 0,08771$   
 $f_{sublateral,1,2} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,2,2} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,3,2} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,4,2} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,5,2} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,6,2} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{sublateral,7,2} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{terc,2} = 0,08771$  [adimensional]  
 $g = 9,73$  [m/s<sup>2</sup>]  
 $H_1 = 19,80$  [mca]  
 $h_{acces.lat} = 0,017$  [mca]  
 $h_{acces.sublat} = 0,05801$  [mca]  
 $h_{acces.sublat,2} = 0,02839$  [mca]  
 $h_{accesorios} = 0,000974$  [mca]  
 $h_{f.cabezal} = 9,184$  [mca]  
 $h_{f.lateral.admisible,1} = 2750$  [mca]  
 $h_{f.lateral.real,1} = 0,07191$  [mca]  
 $h_{f.laterales,1} = 0,07191$  [mca]  
 $h_{f.lateral,1,1} = 0,01342$  [mca]  
 $h_{f.lateral,2,1} = 0,01342$  [mca]  
 $h_{f.lateral,3,1} = 0,01342$  [mca]  
 $h_{f.lateral,4,1} = 0,01342$  [mca]  
 $h_{f.lateral,5,1} = 0,00753$  [mca]  
 $h_{f.lateral,6,1} = 0,00753$  [mca]  
 $h_{f.lateral,7,1} = 0,00318$  [mca]  
 $h_{f.L,1,1} = 0,02696$  [mca]  
 $h_{f.L,2,1} = 0,02696$  [mca]  
 $h_{f.L,3,1} = 0,02696$  [mca]  
 $h_{f.L,4,1} = 0,02696$  [mca]  
 $h_{f.L,5,1} = 0,01378$  [mca]  
 $h_{f.L,6,1} = 0,01378$  [mca]  
 $h_{f.L,7,1} = 0,004895$  [mca]  
 $h_{f.prim} = 0,2394$  [mca]  
 $h_{f.sec} = 0,6322$  [mca]  
 $h_{f.sec2} = 0,6322$  [mca]  
 $h_{f.SL,1,2} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,2,2} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,3,2} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,4,2} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,5,2} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,6,2} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.SL,7,2} = 0,001567$  [mca]  
 $h_{f.sublateral.admisible,2} = 2750$  [mca]  
 $h_{f.sublateral.real,2} = 0,01794$  [mca]

$hf.sublaterales,1 = 0,01872$  [mca]  
 $hf.sublateral,1,1 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,2,1 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,3,1 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,4,1 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,5,1 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,6,1 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,7,1 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.terc.admisible,1 = 10000$  [mca]  
 $hf.terc,1 = 0,25685$  [mca]  
 $hf.T,1 = 0,5864$  [mca]  
 $hf.valv = 2$  [mca]  
 $K_1 = 4$  [adimensional]  
 $K_{lat} = 4,2$  [adimensional]  
 $K_{sublat,1} = 43,2$  [adimensional]  
 $K_{terc} = 20$  [adimensional]  
 $Long_{lateral,0,1} = 0,5$  [m]  
 $Long_{lateral,1a4,1} = 15,7$  [m]  
 $Long_{lateral,5a6,1} = 10,7$  [m]  
 $Long_{lateral,7,1} = 5,7$  [m]  
 $Long_{lateral,e,2} = 0,2$  [m]  
 $Long_{sec} = 44$  [m]  
 $Long_{sec2} = 43$  [m]  
 $Long_{sublateral,0,2} = 0,5$  [m]  
 $Long_{sublateral,2} = 3,65$   
 $Long_{sublateral,e,2} = 0,15$  [m]  
 $Long_{terc,0,2} = 0,5$  [m]  
 $Long_{terc,2} = 36,7$  [m]  
 $Long_{terc,e,2} = 0,2$  [m]  
 $Long_{total,L,1} = 89,9$  [m]  
 $Long_{total,P} = 4$  [m]  
 $Long_{total,SL} = 171,6$  [m]  
 $Long_{total,SL,2} = 83,95$  [m]  
 $Long_{total,TRANS} = 100$  [m]  
 $\mu = 0,0008905$  [kg/m.s]  
 $N_{goteros,1} = 4$  [goteros]  
 $N_{laterales,1} = 7$  [laterales]  
 $N_{laterales,1a5,2} = 5$  [laterales]  
 $N_{laterales,5a6,1} = 2$  [laterales]  
 $N_{laterales,7,1} = 1$  [laterales]  
 $N_{sublaterales,1a4,1} = 4$  [sublaterales]  
 $N_{sublaterales,2} = 7$   
 $N_{sublaterales,6a7,2} = 4$   
 $Pendientesub_1 = 0$  [%]  
 $Pendiente_1 = 30$  [%]  
 $Pendiente_{prim} = 10$  [%]  
 $Pinicial.mayorterc = 8,573$  [mca]

$hf.sublaterales,2 = 0,01794$  [mca]  
 $hf.sublateral,1,2 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,2,2 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,3,2 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,4,2 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,5,2 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,6,2 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.sublateral,7,2 = 0,0007799$  [mca]  
 $hf.terc.admisible,2 = 10000$  [mca]  
 $hf.terc,2 = 0,23636$  [mca]  
 $hf.T,2 = 0,5396$  [mca]  
 $hfricción = 1,169$  [mca]  
 $K_2 = 4$  [adimensional]  
 $K_{sec} = 1,8$  [adimensional]  
 $K_{sublat,2} = 41,4$  [adimensional]  
 $K_{trans} = 0,2$  [adimensional]  
 $Long_{lateral,0,2} = 0,5$  [m]  
 $Long_{lateral,1a5,2} = 10,7$  [m]  
 $Long_{lateral,6a7,2} = 15,7$  [m]  
 $Long_{lateral,e,1} = 0,2$  [m]  
 $Long_{prim} = 4$  [m]  
 $Long_{sec1} = 1$  [m]  
 $Long_{sublateral,0,1} = 0,5$  [m]  
 $Long_{sublateral,1} = 3,65$   
 $Long_{sublateral,e,1} = 0,15$  [m]  
 $Long_{terc,0,1} = 0,5$  [m]  
 $Long_{terc,1} = 36,7$  [m]  
 $Long_{terc,e,1} = 0,2$  [m]  
 $Long_{total,L} = 174,8$  [m]  
 $Long_{total,L,2} = 84,9$  [m]  
 $Long_{total,S} = 44$  [m]  
 $Long_{total,SL,1} = 87,6$  [m]  
 $Long_{total,T} = 73,4$  [m]  
 $Long_{trans} = 100$  [m]  
 $v = 8,931E-07$  [m<sup>2</sup>/s]  
 $N_{goteros,2} = 4$  [goteros]  
 $N_{laterales,1a4,1} = 4$  [laterales]  
 $N_{laterales,2} = 7$  [laterales]  
 $N_{laterales,6a7,2} = 2$   
 $N_{sublaterales,1} = 9$  [sublaterales]  
 $N_{sublaterales,1a5,2} = 3$   
 $N_{sublaterales,5a6,1} = 3$  [sublaterales]  
 $N_{sublaterales,7,1} = 2$  [sublaterales]  
 $Pendientesub_2 = 0$  [%]  
 $Pendiente_2 = 30$  [%]  
 $Pendiente_{T1} = 10$  [%]  
 $Pinicial.cabezal = 18,43$  [mca]

Pinicial<sub>L,1,1</sub> = 7,655 [mca]  
 Pinicial<sub>L,2,1</sub> = 7,655 [mca]  
 Pinicial<sub>L,3,1</sub> = 7,655 [mca]  
 Pinicial<sub>L,4,1</sub> = 7,655 [mca]  
 Pinicial<sub>L,5,1</sub> = 8,4 [mca]  
 Pinicial<sub>L,6,1</sub> = 8,4 [mca]  
 Pinicial<sub>L,7,1</sub> = 9,147 [mca]  
 Pinicial<sub>prim</sub> = 9,245 [mca]  
 Pinicial<sub>sec1</sub> = 7,516  
 Pinicial<sub>SL,1,1</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,2,1</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,3,1</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,4,1</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,5,1</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,6,1</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,7,1</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>T,1</sub> = 7,50 [mca]  
 P<sub>mediaSL,1</sub> = 10 [mca]  
 P<sub>mediaT,1</sub> = 9,147 [mca]  
 P<sub>nomSL,1</sub> = 10 [mca]  
 P<sub>nomT,1</sub> = 9,147 [mca]  
 Porc.variac.caudal<sub>1</sub> = 0,0003537 [%]  
 Porcentaje<sub>perm,1</sub> = 1000 [%]  
 P<sub>2</sub> = 180723 [Pa]  
 P<sub>gotero,1</sub> = 10 [mca]  
 P<sub>min,1</sub> = 9,653 [mca]  
 P<sub>máx,1</sub> = 10 [mca]  
 P<sub>ref</sub> = 101,1 [kPa]  
 Q<sub>gotero,2</sub> = 0,000001111 [m<sup>3</sup>/s]  
 Q<sub>lateral1a5,2</sub> = 0,00001334 [m<sup>3</sup>/s]  
 Q<sub>lateral6a7,2</sub> = 0,00001778 [m<sup>3</sup>/s]  
 Q<sub>prim</sub> = 0,0002089 [m<sup>3</sup>/s]  
 Q<sub>sec1</sub> = 0,0001067 [m<sup>3</sup>/s]  
 Q<sub>sublateral,1</sub> = 0,000004445  
 Q<sub>terc,1</sub> = 0,0001067 [m<sup>3</sup>/s]  
 Q<sub>trans</sub> = 0,0002089 [m<sup>3</sup>/s]  
 Q<sub>gotero,2</sub> = 4,001 [L/h]  
 Q<sub>min,2</sub> = 4,001 [L/h]  
 R<sub>elateral,1,2</sub> = 1358 [adimensional]  
 R<sub>elateral,2,2</sub> = 1358 [adimensional]  
 R<sub>elateral,3,2</sub> = 1358 [adimensional]  
 R<sub>elateral,4,2</sub> = 1358 [adimensional]  
 R<sub>elateral,5,2</sub> = 1358 [adimensional]  
 R<sub>elateral,6,2</sub> = 1811 [adimensional]  
 R<sub>elateral,7,2</sub> = 1811 [adimensional]  
 R<sub>esec1</sub> = 6914 [adimensional]  
 R<sub>esublateral,1,1</sub> = 452,7 [adimensional]  
 R<sub>esublateral,2,1</sub> = 452,7 [adimensional]

Pinicial<sub>L,1,2</sub> = 8,4 [mca]  
 Pinicial<sub>L,2,2</sub> = 8,4 [mca]  
 Pinicial<sub>L,3,2</sub> = 8,4 [mca]  
 Pinicial<sub>L,4,2</sub> = 8,4 [mca]  
 Pinicial<sub>L,5,2</sub> = 8,4 [mca]  
 Pinicial<sub>L,6,2</sub> = 7,655 [mca]  
 Pinicial<sub>L,7,2</sub> = 7,655 [mca]  
 Pinicial<sub>sec</sub> = 9,21 [mca]  
 Pinicial<sub>sec2</sub> = 9,205  
 Pinicial<sub>SL,1,2</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,2,2</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,3,2</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,4,2</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,5,2</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,6,2</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>SL,7,2</sub> = 10 [mca]  
 Pinicial<sub>T,2</sub> = 8,57 [mca]  
 P<sub>mediaSL,2</sub> = 10 [mca]  
 P<sub>mediaT,2</sub> = 8,4 [mca]  
 P<sub>nomSL,2</sub> = 10 [mca]  
 P<sub>nomT,2</sub> = 8,4 [mca]  
 Porc.variac.caudal<sub>2</sub> = 0,000324 [%]  
 Porcentaje<sub>perm,2</sub> = 1000 [%]  
 P<sub>2,mca</sub> = 18,43 [mca]  
 P<sub>gotero,2</sub> = 10 [mca]  
 P<sub>min,2</sub> = 9,681 [mca]  
 P<sub>máx,2</sub> = 10 [mca]  
 Q<sub>gotero,1</sub> = 0,000001111 [m<sup>3</sup>/s]  
 Q<sub>lateral1a4,1</sub> = 0,00001778  
 Q<sub>lateral5a6,1</sub> = 0,00001334  
 Q<sub>lateral7,1</sub> = 0,000008891  
 Q<sub>sec</sub> = 0,0002089 [m<sup>3</sup>/s]  
 Q<sub>sec2</sub> = 0,0001022 [m<sup>3</sup>/s]  
 Q<sub>sublateral,2</sub> = 0,000004445  
 Q<sub>terc,2</sub> = 0,0001022 [m<sup>3</sup>/s]  
 Q<sub>gotero,1</sub> = 4,001 [L/h]  
 Q<sub>min,1</sub> = 4,001 [L/h]  
 R<sub>elateral,1,1</sub> = 1811 [adimensional]  
 R<sub>elateral,2,1</sub> = 1811 [adimensional]  
 R<sub>elateral,3,1</sub> = 1811 [adimensional]  
 R<sub>elateral,4,1</sub> = 1811 [adimensional]  
 R<sub>elateral,5,1</sub> = 1358 [adimensional]  
 R<sub>elateral,6,1</sub> = 1358 [adimensional]  
 R<sub>elateral,7,1</sub> = 905,3 [adimensional]  
 R<sub>esec2</sub> = 6625  
 R<sub>esublateral,1,2</sub> = 452,7 [adimensional]  
 R<sub>esublateral,2,2</sub> = 452,7 [adimensional]

$Re_{\text{sublateral},3,1} = 452,7$ [adimensional]	$Re_{\text{sublateral},3,2} = 452,7$ [adimensional]
$Re_{\text{sublateral},4,1} = 452,7$ [adimensional]	$Re_{\text{sublateral},4,2} = 452,7$ [adimensional]
$Re_{\text{sublateral},5,1} = 452,7$ [adimensional]	$Re_{\text{sublateral},5,2} = 452,7$ [adimensional]
$Re_{\text{sublateral},6,1} = 452,7$ [adimensional]	$Re_{\text{sublateral},6,2} = 452,7$ [adimensional]
$Re_{\text{sublateral},7,1} = 452,7$ [adimensional]	$Re_{\text{sublateral},7,2} = 452,7$ [adimensional]
$Re_{\text{terc},1} = 6914$ [adimensional]	$Re_{\text{terc},2} = 6625$ [adimensional]
$Re_{\text{trans}} = 10131$ [adimensional]	$\rho = 997,1$ [kg/m <sup>3</sup> ]
$RR_{\text{lateral},1,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{lateral},1,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{lateral},2,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{lateral},2,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{lateral},3,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{lateral},3,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{lateral},4,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{lateral},4,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{lateral},5,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{lateral},5,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{lateral},6,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{lateral},6,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{lateral},7,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{lateral},7,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{prim}} = 0,06818$ [adimensional]	$RR_{\text{sec}1} = 0,06818$ [adimensional]
$RR_{\text{sublateral},1,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{sublateral},1,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{sublateral},2,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{sublateral},2,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{sublateral},3,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{sublateral},3,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{sublateral},4,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{sublateral},4,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{sublateral},5,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{sublateral},5,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{sublateral},6,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{sublateral},6,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{sublateral},7,1} = 0,07143$ [adimensional]	$RR_{\text{sublateral},7,2} = 0,07143$ [adimensional]
$RR_{\text{terc},1} = 0,06818$ [adimensional]	$RR_{\text{terc},2} = 0,06818$ [adimensional]
$RR_{\text{trans}} = 0,04422$ [adimensional]	$T_{\text{ref}} = 25$ [°C]
$V_2 = 0,3078$ [m/s]	$V_{\text{lat},1} = 0,1155$ [m/s]
$V_{\text{lat},2} = 0,1155$ [m/s]	$V_{\text{min.adm}} = 0,3$ [m/s]
$V_{\text{máx.adm}} = 2,5$ [m/s]	$V_{\text{prim}} = 0,5496$ [m/s]
$V_{\text{prim.min.adm}} = 0,3$ [m/s]	$V_{\text{prim.máx.adm}} = 2,5$ [m/s]
$V_{\text{sec.min.adm}} = 0,3$ [m/s]	$V_{\text{sec.máx.adm}} = 2,5$ [m/s]
$V_{\text{sec}1} = 0,2807$ [m/s]	$V_{\text{sec}2} = 0,2690$ [m/s]
$V_{\text{terc}} = 0,2807$ [m/s]	$V_{\text{terc},1} = 0,2807$ [m/s]
$V_{\text{terc},2} = 0,2690$ [m/s]	$V_{\text{transporte}} = 0,3078$ [m/s]
$X = 8,573$ [adimensional]	$x_1 = 0,0001$ [adimensional]
$x_2 = 0,0001$ [adimensional]	$Y = 7,5$ [adimensional]
$Z = 7,5$ [adimensional]	$z_1 = 19,804$ [m]
$z_2 = 0$ [m]	

Figura K-5. Código EES - Ecuaciones en el diseño hidráulico disposición doble lateral.

```
"|-----| DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO |-----"
"|-----| SECCIÓN DOS : DISEÑO HIDRÁULICO |-----"
"|-----| CONFIGURACIÓN : DOBLE LATERAL |-----"
```

```
"|-----> CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO:"
** El procedimiento de cálculo inicia desde el gotero hasta la fuente de agua."
** El sistema de riego se divide en dos fases: (1) Sistemas de distribución y (2) Sistema de transporte."
** El área de cultivo se divide en dos Subunidades."
```

\*\* Como el procedimiento de cálculo se inicia en el gotero, primero se aborda el (1) Sistema de distribución, y, con los datos de presión y caudal necesarios para el riego de las subunidades, se inicia el cálculo del (2) Sistema de transporte."

"!----- FASE UNO: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN -----"

\*\* El procedimiento de cálculo inicia desde el gotero hasta la fuente de agua."  
\*\* Las DOS SUBUNIDADES se calculan de forma independiente debido a las diferencias en cada una."

"!----- SUBUNIDAD 1 -----"

"El esquema se muestra en 'Diagram Window (Ctrl+D)'. La distribución de las líneas y la nomenclatura de los mismos."

"! -----> PRIMERO: GOTERO"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

\*\* Tipo de gotero: AC - AutoCompensado."

\*\* Referencia: PCJ Dripper"

\*\* Catálogo: Netafim Drippers."

"! (2) Ecuación de descarga de un gotero:"

"Expresión válida para cualquier tipo de gotero:"

$Q_{\text{gotero}_1} = K_1 * (P_{\text{gotero}_1})^{x_1}$  "----> Caudal del gotero en [L/h]."

$Q_{\text{dot\_gotero}_1} = Q_{\text{gotero}_1} * \text{convert}(L/h; m^3/s)$  "----> Caudal del gotero en [m<sup>3</sup>/s]."

"Donde:"

$K_1 = 4$  "----> Coeficiente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar].} {CATÁLOGO NETAFIM

DRIPPERS }

$x_1 = 0,0001$  "----> Exponente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar].} {CATÁLOGO NETAFIM

DRIPPERS }

$P_{\text{gotero}_1} = 10$  [mca] "----> Presión de trabajo en el gotero." {Valor de la Presión nominal en el gotero.} {CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS }

"NOTA: El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo limita la variación máxima de caudal a un 10% en el lateral y por extensión en la unidad de riego, criterio que se aplica a todo tipo de goteros."

"! (3) Máxima variación de la presión:"

$\text{DELTAP}_{\text{gotero}_1} = \text{Porcentaje\_perm}_1 * P_{\text{gotero}_1}$

$\text{Porcentaje\_perm}_1 = 0,1 / x_1$  "----> Porcentaje permisible de la variación de la  $P_{\text{gotero}}$  para no sobrepasar 10% en la variación del caudal."

"! -----> SEGUNDO: TUBERÍAS LATERALES"

"Teniendo en cuenta que el área de cultivo cuenta con CATORCE CALLES (Sin contar los dos árboles solos), se determina dividir el cultivo en dos secciones, cada una con SIETE CALLES."

"Como se especifica en el título inicial, este es el código de cálculo para la primera sección: SUBUNIDAD 1."

"A continuación, se asignan subíndices a cada lateral del 1 al 14, teniendo en cuenta que el Diseño Agronómico arrojó un número mínimo de cuatro emisores por árbol."

"La disposición de los laterales se muestra en el esquema."

"NOTA: Se decide trabajar cada grupo de laterales de forma independiente para realizar variaciones en el diámetro de las mangueras, buscando minimizar costos y mejorar el sistema."

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"El número de emisores (goteros):"

$N_{\text{goteros}_1} = 4$  "----> Número de goteros por cada árbol presente en la SubUnidad" {Resultado del Diseño Agronómico.}

$N_{\text{goteros}_{1a8}_1} = (N_{\text{goteros}_1/2}) * N_{\text{arboles}_{1a8}_1}$  "----> Número de goteros en cada lateral del grupo 1 a 8."

$N_{\text{goteros}_{9a12}_1} = (N_{\text{goteros}_1/2}) * N_{\text{arboles}_{9a12}_1}$  "----> Número de goteros en cada lateral del grupo 9 a 12."

$N_{\text{goteros}_{13a14}_1} = (N_{\text{goteros}_1/2}) * N_{\text{arboles}_{13a14}_1}$  "----> Número de goteros en cada lateral del grupo 13 a 14."

"[m] ----> Longitud del lateral." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios equisitantes y primer emisor separado.} {UNIVERSIDAD JAUME I }

"Para cada grupo de laterales:"

$Long\_lateral\_1a8\_1 = (Long\_lateral\_0\_1 - Long\_lateral\_g\_1) + (N\_lat1\_1 * N\_arboles\_1a8\_1 * Long\_lateral\_e\_1) + ((Long\_lateral\_g\_1 - Long\_lateral\_e\_1) * N\_arboles\_1a8\_1) + Long\_lateral\_extra\_1$   
 $Long\_lateral\_9a12\_1 = (Long\_lateral\_0\_1 - Long\_lateral\_g\_1) + (N\_lat1\_1 * N\_arboles\_9a12\_1 * Long\_lateral\_e\_1) + ((Long\_lateral\_g\_1 - Long\_lateral\_e\_1) * N\_arboles\_9a12\_1) + Long\_lateral\_extra\_1$   
 $Long\_lateral\_13a14\_1 = (Long\_lateral\_0\_1 - Long\_lateral\_g\_1) + (N\_lat1\_1 * N\_arboles\_13a14\_1 * Long\_lateral\_e\_1) + ((Long\_lateral\_g\_1 - Long\_lateral\_e\_1) * N\_arboles\_13a14\_1) + Long\_lateral\_extra\_1$

"Donde:"

Long\_lateral\_0\_1 = 0,5 [m] "----> Distancia desde el inicio del lateral al primer emisor." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

Long\_lateral\_g\_1 = 4 [m] "----> Distancia entre grupos de emisores." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

Long\_lateral\_e\_1 = 1 [m] "----> Distancia de separación entre emisores." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

Long\_lateral\_extra\_1 = 0,15 [m] "----> Longitud lateral excedente."

N\_lat1\_1 = 2 "[goteros] ----> Número de emisores por grupo." {Valor aplicable a todos los laterales.} { CÁLCULO D. AGRONÓMICO }

N\_arboles\_1a8\_1 = 4 "----> Número de árboles en los laterales 1 a 8."

N\_arboles\_9a12\_1 = 3 "----> Número de árboles en los laterales 9 a 12."

N\_arboles\_13a14\_1 = 2 "----> Número de árboles en los laterales 13 a 14."

"! (1.1) Material tuberías laterales:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: MANGUERA DE 16mm Y 20mm LAS MÁS USADAS PARA LÍNEAS PORTAGOTEROS EN EL MERCADO."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_lateral\_1 = 14e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

epsilon\_lateral\_1 = 1e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral."

{ "OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_lateral\_1 = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

epsilon\_lateral\_1 = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

"! (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

"DELTAH\_u <= DELTAP\_gotero"

"Es decir:"

"DELTAH\_u <= ( 0,1 / x ) \* P\_nominal"

"Donde:"

{ DELTAH\_u = h\_f.laterales + h\_f.terciarias } "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías."

DELTAH\_u\_1 = h\_f.laterales\_1 + h\_f.terc\_1

h\_f.laterales\_1 = 2\*(h\_f.lateral\_1a2\_1 + h\_f.lateral\_3a4\_1 + h\_f.lateral\_5a6\_1 + h\_f.lateral\_7a8\_1 + h\_f.lateral\_9a10\_1 + h\_f.lateral\_11a12\_1 + h\_f.lateral\_13a14\_1) "----> Pérdidas de carga totales en laterales de la SUBUNIDAD 1."

"! (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del h\_f.lateral.calculado con el valor de h\_f.lateral.admisible."

h\_f.lateral.admisible\_1 = (0,055 / x\_1) \* P\_gotero\_1 "----> Según criterio económico que busca el coste mínimo de la Instalación, y en el que se estable que: 55% DELTAH\_u = h\_f.laterales y 45% DELTAH\_u = h\_f.terciarias."

"Se debe cumplir que:"

"h\_f.lateral.calculado <= h\_f.lateral.admisible"

"! (4) Pérdidas de Carga en el Lateral:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a los goteros):"

"Para cada grupo de laterales:"

h\_f.lateral\_1a2\_1 = h\_f.L\_1a2\_1 \* F\_cL\_1a8\_1

h\_f.lateral\_3a4\_1 = h\_f.L\_3a4\_1 \* F\_cL\_1a8\_1

h\_f.lateral\_5a6\_1 = h\_f.L\_5a6\_1 \* F\_cL\_1a8\_1

$h_{f,lateral\_7a8\_1} = h_{f,L\_7a8\_1} * F_{cL\_1a8\_1}$   
 $h_{f,lateral\_9a10\_1} = h_{f,L\_9a10\_1} * F_{cL\_9a12\_1}$   
 $h_{f,lateral\_11a12\_1} = h_{f,L\_11a12\_1} * F_{cL\_9a12\_1}$   
 $h_{f,lateral\_13a14\_1} = h_{f,L\_13a14\_1} * F_{cL\_13a14\_1}$

"! (4,1) Coeficiente de Christiansen (F\_c):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

"Para cada grupo de laterales:"

$F_{cL\_1a8\_1} = (1 / (1 + \beta_{L\_1})) + (1 / (2 * N_{goteros\_1a8\_1})) + ((\beta_{L\_1} - 1)^{1/2} / (6 * N_{goteros\_1a8\_1}^2))$   
 $F_{cL\_9a12\_1} = (1 / (1 + \beta_{L\_1})) + (1 / (2 * N_{goteros\_9a12\_1})) + ((\beta_{L\_1} - 1)^{1/2} / (6 * N_{goteros\_9a12\_1}^2))$   
 $F_{cL\_13a14\_1} = (1 / (1 + \beta_{L\_1})) + (1 / (2 * N_{goteros\_13a14\_1})) + ((\beta_{L\_1} - 1)^{1/2} / (6 * N_{goteros\_13a14\_1}^2))$

"Donde:"

$\beta_{L\_1} = 1,75$  {Tubería de PE 100% según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} [VALORES PRÁCTICOS  
 SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]]  
 {O, Beta se puede 'CALCULAR' así:  $\beta = (37530/Re)^{16}$ }

"! (4,2) Pérdidas de carga en el Lateral (h\_f.L):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:" [REVISAR UNIDADES: Q [m³/s], h\_f [mca], D[m], L[m].]

"Para cada grupo de laterales:"

$h_{f,L\_1a2\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_1a2\_1} * Long_{lateral\_1a8\_1} * Q_{dot\_lateral1a8\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_1a2\_1}^5))$   
 $h_{f,L\_3a4\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_3a4\_1} * Long_{lateral\_1a8\_1} * Q_{dot\_lateral1a8\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_3a4\_1}^5))$   
 $h_{f,L\_5a6\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_5a6\_1} * Long_{lateral\_1a8\_1} * Q_{dot\_lateral1a8\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_5a6\_1}^5))$   
 $h_{f,L\_7a8\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_7a8\_1} * Long_{lateral\_1a8\_1} * Q_{dot\_lateral1a8\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_7a8\_1}^5))$   
 $h_{f,L\_9a10\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_9a10\_1} * Long_{lateral\_9a12\_1} * Q_{dot\_lateral9a12\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_9a10\_1}^5))$   
 $h_{f,L\_11a12\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_11a12\_1} * Long_{lateral\_9a12\_1} * Q_{dot\_lateral9a12\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_11a12\_1}^5))$   
 $h_{f,L\_13a14\_1} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_13a14\_1} * Long_{lateral\_13a14\_1} * Q_{dot\_lateral13a14\_1}^2) / (D_{calc\_lateral\_13a14\_1}^5))$

"Donde:"

"----> Diámetro interno de cada grupo de laterales."

"Seleccionar los valores de diámetro deseados para cada grupo de laterales teniendo en cuenta las opciones del catálogo:"

$D_{calc\_lateral\_1a2\_1} = D_{i\_lateral\_1}$   
 $D_{calc\_lateral\_3a4\_1} = D_{i\_lateral\_1}$   
 $D_{calc\_lateral\_5a6\_1} = D_{i\_lateral\_1}$   
 $D_{calc\_lateral\_7a8\_1} = D_{i\_lateral\_1}$   
 $D_{calc\_lateral\_9a10\_1} = D_{i\_lateral\_1}$   
 $D_{calc\_lateral\_11a12\_1} = D_{i\_lateral\_1}$   
 $D_{calc\_lateral\_13a14\_1} = D_{i\_lateral\_1}$

"----> Espesor de la pared de cada grupo de laterales."

"Ingresar los valores de espesor de la pared de la tubería de cada grupo de laterales según el modelo seleccionado:"

$\epsilon_{lateral\_1a2\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$   
 $\epsilon_{lateral\_3a4\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$   
 $\epsilon_{lateral\_5a6\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$   
 $\epsilon_{lateral\_7a8\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$   
 $\epsilon_{lateral\_9a10\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$   
 $\epsilon_{lateral\_11a12\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$   
 $\epsilon_{lateral\_13a14\_1} = \epsilon_{lateral\_1}$

"----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$f_{lateral\_1a2\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_1a2\_1}; RR_{lateral\_1a2\_1})$   
 $f_{lateral\_3a4\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_3a4\_1}; RR_{lateral\_3a4\_1})$   
 $f_{lateral\_5a6\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_5a6\_1}; RR_{lateral\_5a6\_1})$   
 $f_{lateral\_7a8\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_7a8\_1}; RR_{lateral\_7a8\_1})$   
 $f_{lateral\_9a10\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_9a10\_1}; RR_{lateral\_9a10\_1})$   
 $f_{lateral\_11a12\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_11a12\_1}; RR_{lateral\_11a12\_1})$   
 $f_{lateral\_13a14\_1} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_13a14\_1}; RR_{lateral\_13a14\_1})$

"----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$Re_{lateral\_1a2\_1} = (4 * Q_{dot\_lateral1a8\_1}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_1a2\_1} * \nu)$   
 $Re_{lateral\_3a4\_1} = (4 * Q_{dot\_lateral1a8\_1}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_3a4\_1} * \nu)$   
 $Re_{lateral\_5a6\_1} = (4 * Q_{dot\_lateral1a8\_1}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_5a6\_1} * \nu)$   
 $Re_{lateral\_7a8\_1} = (4 * Q_{dot\_lateral1a8\_1}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_7a8\_1} * \nu)$

RR\_lateral\_9a10\_1 = epsilon\_lateral\_9a10\_1 / Dcalc\_lateral\_9a10\_1  
RR\_lateral\_11a12\_1 = epsilon\_lateral\_11a12\_1 / Dcalc\_lateral\_11a12\_1  
RR\_lateral\_13a14\_1 = epsilon\_lateral\_13a14\_1 / Dcalc\_lateral\_13a14\_1

"! (5) Presión en el origen del Lateral:"

"Para cada grupo de laterales:"

Pinicial\_L\_1a2\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_1a2\_1 + (DELTAZ\_L1a8\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_3a4\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_3a4\_1 + (DELTAZ\_L1a8\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_5a6\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_5a6\_1 + (DELTAZ\_L1a8\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_7a8\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_7a8\_1 + (DELTAZ\_L1a8\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_9a10\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_9a10\_1 + (DELTAZ\_L9a12\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_11a12\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_11a12\_1 + (DELTAZ\_L9a12\_1 / 2 )  
Pinicial\_L\_13a14\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_13a14\_1 + (DELTAZ\_L13a14\_1 / 2 )

"Donde:"

Pmedia\_L\_1 = Pnom\_L\_1 "----> Presión media en el lateral que debe coincidir con la presión nominal."

Pnom\_L\_1 = P\_gotero\_1 "----> Presión nominal o presión a la que el gotero emite el caudal nominal durante el funcionamiento."

"----> Desnivel geométrico entre los extremos del lateral: (+) Densivel ascendente y (-) Densivel descendente."

DELTAZ\_L1a8\_1 = - ( Pendiente\_1\*Long\_lateral\_1a8\_1 ) / 100

DELTAZ\_L9a12\_1 = - ( Pendiente\_1\*Long\_lateral\_9a12\_1 ) / 100

DELTAZ\_L13a14\_1 = - ( Pendiente\_1\*Long\_lateral\_13a14\_1 ) / 100

Pendiente\_1 = 30 [%] "----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} { MEDICIÓN }

"! -----> TERCERO: TUBERÍAS TERCIARIAS"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"Número de laterales:"

N\_laterales\_1 = N\_laterales\_1a8\_1 + N\_laterales\_9a12\_1 + N\_laterales\_13a14\_1 "----> Número total de laterales."

N\_laterales\_1a8\_1 = 8 "----> Número de laterales del 1 al 8."

N\_laterales\_9a12\_1 = 4 "----> Número de laterales del 9 al 12."

N\_laterales\_13a14\_1 = 2 "----> Número de laterales del 13 al 14."

"----> Longitud de la tubería terciaria." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios agrupados.}

{ UNIVERSIDAD JAUME I }

Long\_terc\_1 = ( Long\_terc\_0\_1 - Long\_terc\_g\_1 ) + ( N\_1\_1 \* N\_2\_1 \* Long\_terc\_e\_1 ) + (( Long\_terc\_g\_1 - Long\_terc\_e\_1 ) \* N\_2\_1 ) + Long\_terc\_extra\_1 "[m]"

"Donde:"

Long\_terc\_0\_1 = 0,5 [m] "----> Distancia desde el inicio de la tubería terciaria al primer lateral." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

Long\_terc\_g\_1 = 5 [m] "----> Distancia entre grupos de tuberías laterales." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

Long\_terc\_e\_1 = 1 [m] "----> Distancia entre laterales de un mismo grupo." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

Long\_terc\_extra\_1 = 0,2 [m] "----> Longitud excedente final en la tubería terciaria."

N\_1\_1 = 2 "----> Número de derivaciones/laterales por grupo." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

N\_2\_1 = 7 "----> Número de grupos." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

"! (1.1) Material tuberías terciarias:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{ "OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_terc\_1 = 14e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 1e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

{ "OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_terc\_1 = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

Di\_terc\_1 = 22e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 1,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

{"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_terc\_1 = 29,4e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 1,3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_terc\_1 = 27,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_terc\_1 = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_terc\_1 = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_terc\_1 = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"

Di\_terc\_1 = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"

Di\_terc\_1 = 45,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_terc\_1 = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_terc\_1 = 57e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_1 = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

"! (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

" $\Delta H_u \leq (0,1 / x) * P_{nominal}$ "

"! (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del  $h_{f,terc}$  calculado, con el valor de  $h_{f,terc.admisible}$ ."

$h_{f,terc.admisible\_1} = (0,1 / x\_1) * P_{gotero\_1} - h_{f,lateral.real\_1}$  "----> Será igual a la Pérdida de carga admisible en la Subunidad menos la Pérdida de carga real producida en los laterales (CALCULADOS ANTERIORMENTE)."

"Donde:"

$h_{f,lateral.real\_1} = h_{f,laterales\_1}$

" $h_{f,terc.calculado} \leq h_{f,terc.admisible}$ "

"! (4) Pérdidas de Carga en la tubería Terciaria:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a las tuberías laterales):"

$h_{f,terc\_1} = h_{f,T\_1} * F_{cT\_1}$

"! (4,1) Coeficiente de Christiansen ( $F_c$ ):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

$F_{cT\_1} = (1 / (1 + \beta_{T\_1})) + (1 / (2 * N_{laterales\_1})) + ((\beta_{T\_1} - 1)^{1/2} / (6 * N_{laterales\_1}^2))$

"Donde:"

beta\_T\_1 = 1,75 {Tubería de PE 40 según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} {VALORES PRÁCTICOS SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}  
{O, Beta se puede 'CALCULAR' así: beta = (37530/Re)^16}

"! (4,2) Pérdidas de carga en la tubería Terciaria (h\_f.T):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:"

$h_{f.T_1} = (1/12,1) * ((f_{terc_1} * Long_{terc_1} * Q_{dot_{terc_1}}^2) / (Di_{terc_1}^5))$  {REVISAR UNIDADES: Q[m^3/s], h\_f[mca], D[m], L[m]}

"Donde:"

{Dcalc\_terc\_1 = Di\_terc\_1}

f\_terc\_1 = MoodyChart(Re\_terc\_1; RR\_terc\_1) "----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

Re\_terc\_1 = (4 \* Q\_dot\_terc\_1) / (pi \* Di\_terc\_1 \* nu) "----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$Q_{dot_{terc_1}} = (N_{laterales_{1a8_1}} * Q_{dot_{lateral_{1a8_1}}}) + (N_{laterales_{9a12_1}} * Q_{dot_{lateral_{9a12_1}}}) + (N_{laterales_{13a14_1}} * Q_{dot_{lateral_{13a14_1}}})$  "[m^3/s] ----> Caudal en la tubería Terciaria."

v\_terc\_1 = Q\_dot\_terc\_1 / ((pi/4) \* Di\_terc\_1^2) "[m/s] ----> Velocidad en la terciaria."

RR\_terc\_1 = epsilon\_terc\_1 / Di\_terc\_1 "----> Radio relativo de la Terciaria."

"! (5) Presión en el origen de la tubería Terciaria:"

Pinicial\_T\_1 = Pmedia\_T\_1 + 0,73\*h\_f.terc\_1 + (DELTAZ\_T\_1 / 2)

"Donde:"

Pmedia\_T\_1 = Pnom\_T\_1 "----> Presión media en la terciaria que debe coincidir con la presión nominal."

Pnom\_T\_1 = Pinicial\_L\_13a14\_1 "----> Presión nominal o presión a la que el gotero emite el caudal nominal durante el funcionamiento."

DELTAZ\_T\_1 = - (Pendiente\_T1 \* Long\_terc\_1) / 100 "----> Desnivel geométrico entre los extremos de la Terciaria: (+) Densivel ascendente y (-) Densivel descendente."

Pendiente\_T1 = 10 [%] "----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} {MEDICIÓN}

"! -----> COMPROBACIÓN ADICIONAL: ANÁLISIS DE PRESIONES EN LOS GOTEROS INICIAL Y FINAL"

"Si en nuestra SUBUNIDAD de riego se tiene al inicio una presión P\_máx, a medida que avanza el fluido en el sistema hasta el gotero más alejado la presión disminuirá debido a las pérdidas."

"Estas pérdidas por fricción son producidas tanto en la tuberías laterales como en la terciaria."

"! (1) Relación de presiones en la SUBUNIDAD:"

"Debido a lo mencionado anteriormente, la presión en el último gotero de la SUBUNIDAD, se presenta como:"

$P_{máx_1} - P_{min_1} = DELTAH_u_1$

"Donde:"

{DELTAH\_u = h\_f.laterales + h\_f.terciarias} "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías." { RELACIÓN EXPLICADA ANTERIORMENTE }

$P_{máx_1} = P_{gotero_1}$  "----> Presión del gotero más cercano a la válvula de control en la SUBUNIDAD." { Suponiendo la Presión nominal máxima para efectos de seguridad }

"! (2) Criterio hidráulico más significativo:"

"La máxima diferencia permitida de caudal en una unidad de riego por goteo será de un 10% para que la uniformidad de riego se encuentre en valores razonables."

"! (3) Comprobación:"

"Cálculo del Caudal en el gotero más alejado de la válvula en la SUBUNIDAD:"

$Q_{min_1} = K_1 * (P_{min_1})^x_1$  "----> Caudal del Gotero más alejado en [L/h]."

"Finalmente, el porcentaje de variación del caudal en la SUBUNIDAD:"

$Porc.variac.caudal_1 = (100 - ((Q_{min_1} * 100) / Q_{gotero_1}))$

"Se debe cumplir que:  $Porc.variac.caudal = DELTAH_u \leq DELTAP_{gotero} \leq (0,1 / x) * P_{nominal}$ "

"!----- SUBUNIDAD 2 -----"

"El esquema se muestra en 'Diagram Window (Ctrl+D)'. La distribución de los laterales y la nomenclatura de los mismos."

"! -----> PRIMERO: GOTERO"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

\*\* Tipo de gotero: AC - AutoCompensado."

\*\* Referencia: PCJ Dripper"

\*\* Catálogo: Netafim Drippers."

!" (2) Ecuación de descarga de un gotero:"

"Expresión válida para cualquier tipo de gotero:"

$Q_{\text{gotero}_2} = K_2 * (P_{\text{gotero}_2})^{x_2}$  "----> Caudal del gotero en [L/h]."

$Q_{\text{dot\_gotero}_2} = Q_{\text{gotero}_2} * \text{convert}(L/h; m^3/s)$  "----> Caudal del gotero en [m<sup>3</sup>/s]."

"Donde:"

$K_2 = K_1$  "----> Coeficiente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar].} {CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS }

$x_2 = x_1$  "----> Exponente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar].} {CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS }

$P_{\text{gotero}_2} = 10$  [mca] "----> Presión de trabajo en el gotero." {Valor de la Presión nominal en el gotero.} {CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS }

"NOTA: El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo limita la variación máxima de caudal a un 10% en el lateral y por extensión en la unidad de riego, criterio que se aplica a todo tipo de goteros."

!" (3) Máxima variación de la presión:"

$\text{DELTAP}_{\text{gotero}_2} = \text{Porcentaje\_perm}_2 * P_{\text{gotero}_2}$

$\text{Porcentaje\_perm}_2 = 0,1 / x_2$  "----> Porcentaje permisible de la variación de la  $P_{\text{gotero}}$  para no sobrepasar 10% en la variación del caudal."

!" -----> SEGUNDO: TUBERÍAS LATERALES"

"Teniendo en cuenta que el área de cultivo cuenta con CATORCE CALLES (Sin contar los dos árboles solos), se determina dividir el cultivo en dos secciones, cada una con SIETE CALLES."

"Como se especifica en el título inicial, este es el código de cálculo para la primera sección: SUBUNIDAD 2."

"A continuación, se asignan subíndices a cada lateral del 1 al 14, teniendo en cuenta que el Diseño Agronómico arrojó un número mínimo de dos emisores por árbol."

"La disposición de los laterales se muestra en el esquema."

"NOTA: Se decide trabajar cada grupo de laterales de forma independiente para realizar variaciones en el diámetro de las mangueras, buscando minizar costos y mejorar el sistema."

!" (1) Consideraciones iniciales:"

"El número de emisores (goteros):"

$N_{\text{goteros}_2} = N_{\text{goteros}_1}$  "----> Número de goteros por cada árbol presente en la SubUnidad" {Resultado del Diseño Agronómico.}

$N_{\text{goteros}_1a10_2} = (N_{\text{goteros}_2/2}) * N_{\text{arboles}_1a10_2}$  "----> Número de goteros en cada lateral del grupo 1 a 10."

$N_{\text{goteros}_11a14_2} = (N_{\text{goteros}_2/2}) * N_{\text{arboles}_11a14_2}$  "----> Número de goteros en cada lateral del grupo 11 a 14."

"[m] ----> Longitud del lateral." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios equidistantes y primer emisor separado.} { UNIVERSIDAD JAUME I }

"Para cada grupo de laterales:"

$\text{Long\_lateral}_{1a10_2} = (\text{Long\_lateral}_{0_2} - \text{Long\_lateral}_{g_2}) + (N_{\text{lat}1_2} * N_{\text{arboles}_1a10_2} * \text{Long\_lateral}_{e_2}) + ((\text{Long\_lateral}_{g_2} - \text{Long\_lateral}_{e_2}) * N_{\text{arboles}_1a10_2}) + \text{Long\_lateral\_extra}_2$

$\text{Long\_lateral}_{11a14_2} = (\text{Long\_lateral}_{0_2} - \text{Long\_lateral}_{g_2}) + (N_{\text{lat}1_2} * N_{\text{arboles}_11a14_2} * \text{Long\_lateral}_{e_2}) + ((\text{Long\_lateral}_{g_2} - \text{Long\_lateral}_{e_2}) * N_{\text{arboles}_11a14_2}) + \text{Long\_lateral\_extra}_2$

"Donde:"

$\text{Long\_lateral}_{0_2} = 0,5$  [m] "----> Distancia desde el inicio del lateral al primer emisor." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

$\text{Long\_lateral}_{g_2} = 4$  [m] "----> Distancia entre grupos de emisores." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

$\text{Long\_lateral}_{e_2} = 1$  [m] "----> Distancia de separación entre emisores." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

$\text{Long\_lateral\_extra}_2 = 0,15$  [m] "----> Longitud lateral excedente."

$N_{\text{lat}1_2} = 2$  [goteros] "----> Número de emisores por grupo." {Valor aplicable a todos los laterales.} { CÁLCULO D. AGRONÓMICO }

$N_{\text{arboles}_1a10_2} = 3$  "----> Número de árboles en los laterales 1 a 10."

$N_{\text{arboles}_11a14_2} = 4$  "----> Número de árboles en los laterales 11 a 14."

!" (1.1) Material tuberías laterales:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: MANGUERA DE 16mm Y 20mm LAS MÁS USADAS PARA LÍNEAS PORTAGOTEROS EN EL MERCADO."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_lateral\_2 = 14e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

epsilon\_lateral\_2 = 1e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral."

{ "OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_lateral\_2 = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

epsilon\_lateral\_2 = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

"! (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

"DELTAH\_u <= DELTAP\_gotero"

"Es decir:"

"DELTAH\_u <= ( 0,1 / x ) \* P\_nominal"

"Donde:"

{ DELTAH\_u = h\_f.laterales + h\_f.terciarias } "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías."

DELTAH\_u\_2 = h\_f.laterales\_2 + h\_f.terc\_2

h\_f.laterales\_2 = 2\*(h\_f.lateral\_1a2\_2 + h\_f.lateral\_3a4\_2 + h\_f.lateral\_5a6\_2 + h\_f.lateral\_7a8\_2 + h\_f.lateral\_9a10\_2 + h\_f.lateral\_11a12\_2 + h\_f.lateral\_13a14\_2) "----> Pérdidas de carga totales en las laterales de la SUBUNIDAD 2."

"! (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del h\_f.lateral.calculado con el valor de h\_f.lateral.admisible."

h\_f.lateral.admisible\_2 = (0,055 / x\_2) \* P\_gotero\_2 "----> Según criterio económico que busca el coste mínimo de la instalación, y en el que se estable que: 55% DELTAH\_u = h\_f.laterales y 45% DELTAH\_u = h\_f.terciarias."

"Se debe cumplir que:"

"h\_f.lateral.calculado <= h\_f.lateral.admisible"

"! (4) Pérdidas de Carga en el Lateral:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a los goteros):"

"Para cada grupo de laterales:"

h\_f.lateral\_1a2\_2 = h\_f.L\_1a2\_2 \* F\_cL\_1a10\_2

h\_f.lateral\_3a4\_2 = h\_f.L\_3a4\_2 \* F\_cL\_1a10\_2

h\_f.lateral\_5a6\_2 = h\_f.L\_5a6\_2 \* F\_cL\_1a10\_2

h\_f.lateral\_7a8\_2 = h\_f.L\_7a8\_2 \* F\_cL\_1a10\_2

h\_f.lateral\_9a10\_2 = h\_f.L\_9a10\_2 \* F\_cL\_1a10\_2

h\_f.lateral\_11a12\_2 = h\_f.L\_11a12\_2 \* F\_cL\_11a14\_2

h\_f.lateral\_13a14\_2 = h\_f.L\_13a14\_2 \* F\_cL\_11a14\_2

"! (4,1) Coeficiente de Christiansen (F\_c):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

"Para cada grupo de laterales:"

F\_cL\_1a10\_2 = ( 1 / (1 + beta\_L\_2) ) + ( 1 / (2\*N\_goteros\_1a10\_2) ) + ( (beta\_L\_2 - 1)^(1/2) / (6\*N\_goteros\_1a10\_2^2) )

F\_cL\_11a14\_2 = ( 1 / (1 + beta\_L\_2) ) + ( 1 / (2\*N\_goteros\_11a14\_2) ) + ( (beta\_L\_2 - 1)^(1/2) / (6\*N\_goteros\_11a14\_2^2) )

"Donde:"

beta\_L\_2 = 1,75 {Tubería de PE 100% según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} [VALORES PRÁCTICOS

SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{O, Beta se puede 'CALCULAR' así: beta = (37530/Re)^16}

"! (4,2) Pérdidas de carga en el Lateral (h\_f.L):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:" [REVISAR UNIDADES: Q [m³/s], h\_f [mca], D[m], L[m].]

"Para cada grupo de laterales:"

h\_f.L\_1a2\_2 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_1a2\_2 \* Long\_lateral\_1a10\_2 \* Q\_dot\_lateral1a10\_2^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_1a2\_2^5 ) )

h\_f.L\_3a4\_2 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_3a4\_2 \* Long\_lateral\_1a10\_2 \* Q\_dot\_lateral1a10\_2^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_3a4\_2^5 ) )

h\_f.L\_5a6\_2 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_5a6\_2 \* Long\_lateral\_1a10\_2 \* Q\_dot\_lateral1a10\_2^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_5a6\_2^5 ) )

h\_f.L\_7a8\_2 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_7a8\_2 \* Long\_lateral\_1a10\_2 \* Q\_dot\_lateral1a10\_2^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_7a8\_2^5 ) )

h\_f.L\_9a10\_2 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_9a10\_2 \* Long\_lateral\_1a10\_2 \* Q\_dot\_lateral1a10\_2^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_9a10\_2^5 ) )

$$h_{f,L_{11a12\_2}} = (1/12,1) * ((f_{lateral_{11a12\_2}} * Long_{lateral_{11a14\_2}} * Q_{dot_{lateral_{11a14\_2}}}^2) / (D_{calc_{lateral_{11a12\_2}}}^5))$$

$$h_{f,L_{13a14\_2}} = (1/12,1) * ((f_{lateral_{13a14\_2}} * Long_{lateral_{11a14\_2}} * Q_{dot_{lateral_{11a14\_2}}}^2) / (D_{calc_{lateral_{13a14\_2}}}^5))$$

"Donde:"

"----> Diámetro interno de cada grupo de laterales."

"Seleccionar los valores de diámetro deseados para cada grupo de laterales teniendo en cuenta las opciones del catálogo:"

$D_{calc\_lateral\_1a2\_2} = D_{i\_lateral\_2}$   
 $D_{calc\_lateral\_3a4\_2} = D_{i\_lateral\_2}$   
 $D_{calc\_lateral\_5a6\_2} = D_{i\_lateral\_2}$   
 $D_{calc\_lateral\_7a8\_2} = D_{i\_lateral\_2}$   
 $D_{calc\_lateral\_9a10\_2} = D_{i\_lateral\_2}$   
 $D_{calc\_lateral\_11a12\_2} = D_{i\_lateral\_2}$   
 $D_{calc\_lateral\_13a14\_2} = D_{i\_lateral\_2}$

"----> Espesor de la pared de cada grupo de laterales."

"Ingresar los valores de espesor de la pared de la tubería de cada grupo de laterales según el modelo seleccionado:"

$\epsilon_{lateral\_1a2\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$   
 $\epsilon_{lateral\_3a4\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$   
 $\epsilon_{lateral\_5a6\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$   
 $\epsilon_{lateral\_7a8\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$   
 $\epsilon_{lateral\_9a10\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$   
 $\epsilon_{lateral\_11a12\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$   
 $\epsilon_{lateral\_13a14\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$

"----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$f_{lateral\_1a2\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_1a2\_2}; RR_{lateral\_1a2\_2})$   
 $f_{lateral\_3a4\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_3a4\_2}; RR_{lateral\_3a4\_2})$   
 $f_{lateral\_5a6\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_5a6\_2}; RR_{lateral\_5a6\_2})$   
 $f_{lateral\_7a8\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_7a8\_2}; RR_{lateral\_7a8\_2})$   
 $f_{lateral\_9a10\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_9a10\_2}; RR_{lateral\_9a10\_2})$   
 $f_{lateral\_11a12\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_11a12\_2}; RR_{lateral\_11a12\_2})$   
 $f_{lateral\_13a14\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_13a14\_2}; RR_{lateral\_13a14\_2})$

"----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$Re_{lateral\_1a2\_2} = (4 * Q_{dot_{lateral_{1a10\_2}}}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_1a2\_2} * \nu)$   
 $Re_{lateral\_3a4\_2} = (4 * Q_{dot_{lateral_{1a10\_2}}}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_3a4\_2} * \nu)$   
 $Re_{lateral\_5a6\_2} = (4 * Q_{dot_{lateral_{1a10\_2}}}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_5a6\_2} * \nu)$   
 $Re_{lateral\_7a8\_2} = (4 * Q_{dot_{lateral_{1a10\_2}}}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_7a8\_2} * \nu)$   
 $Re_{lateral\_9a10\_2} = (4 * Q_{dot_{lateral_{1a10\_2}}}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_9a10\_2} * \nu)$   
 $Re_{lateral\_11a12\_2} = (4 * Q_{dot_{lateral_{11a14\_2}}}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_11a12\_2} * \nu)$   
 $Re_{lateral\_13a14\_2} = (4 * Q_{dot_{lateral_{11a14\_2}}}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_13a14\_2} * \nu)$

"----> Caudal en el Lateral."

$Q_{dot_{lateral_{1a10\_2}}} = N_{goteros\_1a10\_2} * Q_{dot_{gotero\_2}} \text{ "[m}^3\text{/s]"}$   
 $Q_{dot_{lateral_{11a14\_2}}} = N_{goteros\_11a14\_2} * Q_{dot_{gotero\_2}} \text{ "[m}^3\text{/s]"}$

{nu = mu / rho "[m^2/s]" ----> Viscosidad cinemática del agua."}

mu = Viscosity(Water;T=T\_ref;P=P\_ref) "[kg/m.s]" ----> Viscosidad dinámica del agua."

rho = Density(Water;T=T\_ref;P=P\_ref) "[kg/m^3]" ----> Densidad del agua."

T\_ref = 25 [°C]" ----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

P\_ref = 101,12 [kPa]" ----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander.}

"----> Radio relativo del Lateral."

$RR_{lateral\_1a2\_2} = \epsilon_{lateral\_1a2\_2} / D_{calc\_lateral\_1a2\_2}$   
 $RR_{lateral\_3a4\_2} = \epsilon_{lateral\_3a4\_2} / D_{calc\_lateral\_3a4\_2}$   
 $RR_{lateral\_5a6\_2} = \epsilon_{lateral\_5a6\_2} / D_{calc\_lateral\_5a6\_2}$   
 $RR_{lateral\_7a8\_2} = \epsilon_{lateral\_7a8\_2} / D_{calc\_lateral\_7a8\_2}$   
 $RR_{lateral\_9a10\_2} = \epsilon_{lateral\_9a10\_2} / D_{calc\_lateral\_9a10\_2}$   
 $RR_{lateral\_11a12\_2} = \epsilon_{lateral\_11a12\_2} / D_{calc\_lateral\_11a12\_2}$   
 $RR_{lateral\_13a14\_2} = \epsilon_{lateral\_13a14\_2} / D_{calc\_lateral\_13a14\_2}$

"! (5) Presión en el origen del Lateral:"

"Para cada grupo de laterales:"

$P_{inicial\_L\_1a2\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f,lateral\_1a2\_2} + (DELTA Z_{L_{1a10\_2}} / 2)$   
 $P_{inicial\_L\_3a4\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f,lateral\_3a4\_2} + (DELTA Z_{L_{1a10\_2}} / 2)$   
 $P_{inicial\_L\_5a6\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f,lateral\_5a6\_2} + (DELTA Z_{L_{1a10\_2}} / 2)$

$P_{inicial\_L\_7a8\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f.lateral\_7a8\_2} + (DELTAZ\_L1a10\_2 / 2)$   
 $P_{inicial\_L\_9a10\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f.lateral\_9a10\_2} + (DELTAZ\_L1a10\_2 / 2)$   
 $P_{inicial\_L\_11a12\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f.lateral\_11a12\_2} + (DELTAZ\_L11a14\_2 / 2)$   
 $P_{inicial\_L\_13a14\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f.lateral\_13a14\_2} + (DELTAZ\_L11a14\_2 / 2)$   
 "Donde:"  
 $P_{media\_L\_2} = P_{nom\_L\_2}$  "----> Presión media en el lateral que debe coincidir con la presión nominal."  
 $P_{nom\_L\_2} = P_{gotero\_2}$  "----> Presión nominal o presión a la que el gotero emite el caudal nominal durante el funcionamiento."  
 "----> Desnivel geométrico entre los extremos del lateral: (+) Densivel ascendente y (-) Densivel descendente."  
 $DELTAZ\_L1a10\_2 = - (Pendiente\_2 * Long_{lateral\_1a10\_2}) / 100$   
 $DELTAZ\_L11a14\_2 = - (Pendiente\_2 * Long_{lateral\_11a14\_2}) / 100$   
 $Pendiente\_2 = 30 [\%]$  "----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} { MEDICIÓN }

"! -----> TERCERO: TUBERÍAS TERCIARIAS"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"Número de laterales:"

$N_{laterales\_2} = N_{laterales\_1a10\_2} + N_{laterales\_11a14\_2}$  "----> Número total de laterales."

$N_{laterales\_1a10\_2} = 10$  "----> Número de laterales del 1 al 10."

$N_{laterales\_11a14\_2} = 4$  "----> Número de laterales del 11 al 14."

"----> Longitud de la tubería terciaria." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios agrupados.}  
 { UNIVERSIDAD JAUME I }

$Long_{terc\_2} = (Long_{terc\_0\_2} - Long_{terc\_g\_2}) + (N_{1\_2} * N_{2\_2} * Long_{terc\_e\_2}) + ((Long_{terc\_g\_2} - Long_{terc\_e\_2}) * N_{2\_2}) + Long_{terc\_extra\_2}$  "[m]"

"Donde:"

$Long_{terc\_0\_2} = 0,5$  [m] "----> Distancia desde el inicio de la tubería terciaria al primer lateral." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

$Long_{terc\_g\_2} = 5$  [m] "----> Distancia entre grupos de tuberías laterales." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

$Long_{terc\_e\_2} = 1$  [m] "----> Distancia entre laterales de un mismo grupo." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

$Long_{terc\_extra\_2} = 0,2$  [m] "----> Longitud excedente final en la tubería terciaria."

$N_{1\_2} = 2$  "----> Número de derivaciones/laterales por grupo." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

$N_{2\_2} = 7$  "----> Número de grupos." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

"! (1.1) Material tuberías terciarias:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{ "OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm) }

$Di_{terc\_2} = 14e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon_{terc\_2} = 1e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

{ "OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm) }

$Di_{terc\_2} = 17,6e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon_{terc\_2} = 1,2e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

{ "OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm) }

$Di_{terc\_2} = 22e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon_{terc\_2} = 1,5e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

{ "OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm) }

$Di_{terc\_2} = 29,4e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon_{terc\_2} = 1,3e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

{ "OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm) }

$Di_{terc\_2} = 27,2e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon_{terc\_2} = 2,4e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"  
Di\_terc\_2 = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"  
Di\_terc\_2 = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"  
Di\_terc\_2 = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"  
Di\_terc\_2 = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"  
Di\_terc\_2 = 45,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_terc\_2 = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_terc\_2 = 57e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
epsilon\_terc\_2 = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

"! (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

$$\text{"DELTAH}_u \leq (0,1 / x) * P_{\text{nominal}}$$

"! (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del  $h_{f, \text{terc. calculado}}$ , con el valor de  $h_{f, \text{terc. admisible}}$ ."

$h_{f, \text{terc. admisible}_2} = (0,1 / x_2) * P_{\text{gotero}_2} - h_{f, \text{lateral. real}_2}$  "----> Será igual a la Pérdida de carga admisible en la Subunidad menos la Pérdida de carga real producida en los laterales (CALCULADOS ANTERIORMENTE)."

"Donde:"

$$h_{f, \text{lateral. real}_2} = h_{f, \text{laterales}_2} \text{ {REVISAR COHERENCIA DE LA COMPARACIÓN}}$$

$$\text{"}h_{f, \text{terc. calculado}} \leq h_{f, \text{terc. admisible}}$$

"! (4) Pérdidas de Carga en la tubería Terciaria:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a las tuberías laterales):"

$$h_{f, \text{terc}_2} = h_{f, T_2} * F_{cT_2}$$

"! (4,1) Coeficiente de Christiansen ( $F_{cT}$ ):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

$$F_{cT_2} = (1 / (1 + \beta_{T_2})) + (1 / (2 * N_{\text{laterales}_2})) + ((\beta_{T_2} - 1)^{1/2} / (6 * N_{\text{laterales}_2}^2))$$

"Donde:"

$\beta_{T_2} = 1,75$  {Tubería de PE 40 según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} {VALORES PRÁCTICOS

SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{O, Beta se puede 'CALCULAR' así:  $\beta = (37530/Re)^{16}$ }

"! (4,2) Pérdidas de carga en la tubería Terciaria ( $h_{f, T}$ ):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:"

$$h_{f, T_2} = (1 / 12,1) * ((f_{\text{terc}_2} * \text{Long}_{\text{terc}_2} * Q_{\text{dot}_{\text{terc}_2}}^2) / (Di_{\text{terc}_2}^5)) \text{ {REVISAR UNIDADES: } Q[m^3/s]}$$

$h_{f, T_2}$  [mca],  $D$  [m],  $L$  [m].}

"Donde:"

$\beta_{T_2} = 1,75$  {Tubería de PE 40 según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} {VALORES PRÁCTICOS

SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{O, Beta se puede 'CALCULAR' así:  $\beta = (37530/Re)^{16}$ }

"! (4,2) Pérdidas de carga en la tubería Terciaria (h<sub>f.T</sub>):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:"

$$h_{f.T\_2} = (1/12,1) * ((f_{terc\_2} * Long_{terc\_2} * Q_{dot\_terc\_2}^2) / (D_{i\_terc\_2}^5))$$
 {REVISAR UNIDADES: Q[m<sup>3</sup>/s], h<sub>f</sub>[mca], D[m], L[m].}

"Donde:"

{D<sub>calc\_terc\_2</sub> = D<sub>i\_terc\_2</sub>}

f<sub>terc\_2</sub> = MoodyChart(Re<sub>terc\_2</sub>; RR<sub>terc\_2</sub>) "----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

Re<sub>terc\_2</sub> = (4 \* Q<sub>dot\_terc\_2</sub>) / (pi \* D<sub>i\_terc\_2</sub> \* nu) "----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

Q<sub>dot\_terc\_2</sub> = (N<sub>laterales\_1a10\_2</sub> \* Q<sub>dot\_lateral1a10\_2</sub>) + (N<sub>laterales\_11a14\_2</sub> \* Q<sub>dot\_lateral11a14\_2</sub>) "[m<sup>3</sup>/s] ----> Caudal en la tubería Terciaria."

v<sub>terc\_2</sub> = Q<sub>dot\_terc\_2</sub> / ((pi/4) \* D<sub>i\_terc\_2</sub><sup>2</sup>) "[m/s] ----> Velocidad en la terciaria."

RR<sub>terc\_2</sub> = epsilon<sub>terc\_2</sub> / D<sub>i\_terc\_2</sub> "----> Radio relativo de la Terciaria."

"! (5) Presión en el origen de la tubería Terciaria:"

P<sub>inicial\_T\_2</sub> = P<sub>media\_T\_2</sub> + 0,73 \* h<sub>f.terc\_2</sub> + (DELTAZ<sub>T\_2</sub> / 2)

"Donde:"

P<sub>media\_T\_2</sub> = P<sub>nom\_T\_2</sub> "----> Presión media en la terciaria que debe coincidir con la presión nominal."

P<sub>nom\_T\_2</sub> = P<sub>inicial\_L\_1a2\_2</sub> "----> Presión nominal."

DELTAZ<sub>T\_2</sub> = 0 [m] "----> Desnivel geométrico entre los extremos de la Terciaria: (+) Densivel ascendente y (-) Densivel descendente."

"! -----> COMPROBACIÓN ADICIONAL: ANÁLISIS DE PRESIONES EN LOS GOTEROS INICIAL Y FINAL"

"Si en nuestra SUBUNIDAD de riego se tiene al inicio una presión P<sub>máx</sub>, a medida que avanza el fluido en el sistema hasta el gotero más alejado la presión disminuirá debido a las pérdidas."

"Estas pérdidas por fricción son producidas tanto en la tuberías laterales como en la terciaria."

"! (1) Relación de presiones en la SUBUNIDAD:"

"Debido a lo mencionado anteriormente, la presión en el último gotero de la SUBUNIDAD, se presenta como:"

P<sub>máx\_2</sub> - P<sub>min\_2</sub> = DELTAH<sub>u\_2</sub>

"Donde:"

{DELTAH<sub>u</sub> = h<sub>f.laterales</sub> + h<sub>f.terciarias</sub>} "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías." { RELACIÓN EXPLICADA ANTERIORMENTE }

P<sub>máx\_2</sub> = P<sub>gotero\_2</sub> "----> Presión del gotero más cercano a la válvula de control en la SUBUNIDAD." { Suponiendo la Presión nominal máxima para efectos de seguridad }

"! (2) Criterio hidráulico más significativo:"

"La máxima diferencia permitida de caudal en una unidad de riego por goteo será de un 10% para que la uniformidad de riego se encuentre en valores razonables."

"! (3) Comprobación:"

"Cálculo del Caudal en el gotero más alejado de la válvula en la SUBUNIDAD:"

Q<sub>min\_2</sub> = K<sub>2</sub> \* (P<sub>min\_2</sub>)<sup>x\_2</sup> "----> Caudal del Gotero más alejado en [L/h]."

"Finalmente, el porcentaje de variación del caudal en la SUBUNIDAD:"

Porc.variac.caudal\_2 = (100 - ((Q<sub>min\_2</sub> \* 100) / Q<sub>gotero\_2</sub>))

"Se debe cumplir que: Porc.variac.caudal = DELTAH<sub>u</sub> <= DELTAP<sub>gotero</sub> <= (0,1 / x) \* P<sub>nominal</sub>"

"!----- SUBUNIDAD 1 Y SUBUNIDAD 2 -----"

"Asegurar el correcto funcionamiento de la instalación requiere realizar los cálculos correspondiente durante la SITUACIÓN CRÍTICA DE OPERACIÓN."

"Esta condición crítica se refiere al momento en el que AMBAS Subunidades se encuentran en funcionamiento."

"El esquema se muestra en 'Diagram Window (Ctrl+D)'. La distribución de las tuberías secundarias y primaria, así como de los laterales y la nomenclatura de los mismos."

"! -----> CUARTO: TUBERÍAS SECUNDARIAS"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"\* Como se muestra en 'Diagram Window' (Ctrl+D) se planea alimentar la tubería secundaria desde un punto intermedio."

"\* La tubería secundaria debe llegar a las cajas con llaves de paso presentes en el cultivo."

"! (1,1) Proceso de cálculo:" { UNIVERSIDAD JAUME I }

"--- Calcular cada tramo por separado, considerando ambas ramas como simétricas o idénticas, lo que permite calcular sólo una de ellas."

"--- El punto de alimentación debe tener la presión mayor calculada y el doble de caudal."

"--- Ambos ramales tienen las mismas dimensiones."

"! (1,2) Longitud de la tubería secundaria:"

$Long\_sec = Long\_sec1 + Long\_sec2$  [m] ----> Longitud de la tubería secundaria."

"Donde:"

$Long\_sec1 = 1$  [m] ----> Longitud del tramo de tubería secundaria que alimenta a la Subunidad 1."

$Long\_sec2 = 43$  [m] ----> Longitud del tramo de tubería secundaria que alimenta a la Subunidad 2."

"NOTA: Se calculará todo para un sólo tramo, y en las ecuaciones que sea necesario, se tendrán en cuenta los dos."

"! (1,3) Material tuberías secundarias:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

$Di\_sec = 14e-3$  [m] ----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

$epsilon\_sec = 1e-3$  [m] ----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

$Di\_sec = 17,6e-3$  [m] ----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

$epsilon\_sec = 1,2e-3$  [m] ----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

$Di\_sec = 22e-3$  [m] ----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

$epsilon\_sec = 1,5e-3$  [m] ----> Espesor de pared de la tubería secundaria."

{"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

$Di\_sec = 29,4e-3$  [m] ----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

$epsilon\_sec = 1,3e-3$  [m] ----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

$Di\_sec = 27,2e-3$  [m] ----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

$epsilon\_sec = 2,4e-3$  [m] ----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

$Di\_sec = 36,8e-3$  [m] ----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

$epsilon\_sec = 1,6e-3$  [m] ----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

$Di\_sec = 34e-3$  [m] ----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

$epsilon\_sec = 3e-3$  [m] ----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

$Di\_sec = 36,2e-3$  [m] ----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

$epsilon\_sec = 1,9e-3$  [m] ----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"

$Di\_sec = 46e-3$  [m] ----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

$epsilon\_sec = 2e-3$  [m] ----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"

$Di\_sec = 45,2e-3$  [m] ----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

$epsilon\_sec = 2,4e-3$  [m] ----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{}"OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_sec = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."  
epsilon\_sec = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{}"OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"  
Di\_sec = 57e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."  
epsilon\_sec = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

"! (2) Límite para la velocidad de circulación del agua:"

"Generalmente, se establece una velocidad máxima del fluido de 3 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad."  
"Sin embargo, como en el sistema de distribución se trabaja con presiones controladas (como si se tratase de una bomba), se recomienda un rango de velocidades de 0,3 a 2,5 [m/s]."

"Entonces, se debe cumplir que:"

"V\_min.adm <= V\_sec1 <= V\_máx.adm"

"V\_min.adm <= V\_sec2 <= V\_máx.adm"

"Donde:"

V\_sec1 = Q\_dot\_sec1 / ( (pi/4)\*Dcalc\_sec1^2 ) "[m/s] ----> Velocidad del agua en el TRAMO 1 de la tubería secundaria."

V\_sec2 = Q\_dot\_sec2 / ( (pi/4)\*Dcalc\_sec1^2 ) "[m/s] ----> Velocidad del agua en el TRAMO 2 de la tubería secundaria."

V\_sec.min.adm = 0,3 [m/s] "----> Velocidad mínima admisible del agua en la tubería secundaria." {Valor para impedir la deposición en la tubería de cualquier tipo de partícula o impureza.} { FAO }

V\_sec.máx.adm = 2,5 [m/s] "----> Velocidad máxima admisible del agua en la tubería secundaria." {Valor que pretende contribuir a evitar los fenómenos de golpe de ariete y cavitación.} { FAO }

"Si esta condición no se cumple, se debe SELECCIONAR OTRO DIÁMETRO DE TUBERÍA."

"! (3) Pérdidas de carga en la tubería secundaria (h\_f.sec):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que las pérdidas de carga en el TRAMO 1 y TRAMO 2 de la tubería secundaria es:"

h\_f.sec1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_sec1 \* Long\_sec1 \* Q\_dot\_sec1 ^2 ) / ( Dcalc\_sec1^5 ) ) {REVISAR UNIDADES: Q[m^3/s], f [mca], D[m], L[m]}

h\_f.sec2 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_sec2 \* Long\_sec2 \* Q\_dot\_sec2 ^2 ) / ( Dcalc\_sec1^5 ) )

h\_f.sec = h\_f.sec2 "----> Pérdidas mayores en la tubería secundaria."

"Donde:"

Dcalc\_sec1 = Di\_sec

epsilon\_sec1 = epsilon\_sec

"----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

f\_sec1 = MoodyChart(Re\_sec1; RR\_sec1)

f\_sec2 = MoodyChart(Re\_sec2; RR\_sec1)

"----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

Re\_sec1 = ( 4 \* Q\_dot\_sec1 ) / ( pi \* Dcalc\_sec1 \* nu )

Re\_sec2 = ( 4 \* Q\_dot\_sec2 ) / ( pi \* Dcalc\_sec1 \* nu )

RR\_sec1 = epsilon\_sec1/Dcalc\_sec1 "----> Rugosidad relativa del TRAMO 1 de la tubería secundaria."

{nu = mu / rho "[m^2/s] ----> Viscosidad cinemática del agua."}

Q\_dot\_sec1 = Q\_dot\_terc\_1 "[m^3/s] ----> Caudal en el TRAMO 1 de la tubería secundaria."

Q\_dot\_sec2 = Q\_dot\_terc\_2 "[m^3/s] ----> Caudal en el TRAMO 1 de la tubería secundaria."

Q\_dot\_sec = Q\_dot\_sec1 + Q\_dot\_sec2 "[m^3/s] ----> Caudal en la tubería secundaria."

"! (4) Presión en el origen de la tubería secundaria:"

"Debido a que la tubería se alimenta desde un punto intermedio, y que se debe asegurar que funcione para la CONDICIÓN CRÍTICA: Las DOS Subunidades en operación, se tiene que:"

Pinicial\_sec1 = Pinicial\_T\_1 + (h\_f.sec1) + (DELTAZ\_sec / 2 )

Pinicial\_sec2 = Pinicial\_T\_2 + (h\_f.sec2) + (DELTAZ\_sec / 2 )

Pinicial\_sec = Pinicial\_sec2

"Donde:"

X = Pinicial\_T\_2

Y = Pinicial\_T\_1

Z = Pinicial\_T\_1

Pinicial.mayor\_terc=if(Pinicial\_T\_1;Pinicial\_T\_2;X;Y;Z) "----> Presión inicial MAYOR entre la P.inicial de la terciaria de la SU1 y la P.inicial de la terciaria de la SU2." {Así se asegura que el sistema funcione correctamente para el caso donde la subunidad con mayor presión inicial en la tubería terciaria esté operando. También si se opera sólo la subunidad con presión inicial en la terciaria menor, con la válvula de control de presión al origen de ésta, se puede regular el exceso de presión.} {

TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE }

DELTAZ\_sec = 0 [m] "----> Desnivel geométrico entre los extremos de la Secundaria: (+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."

"! -----> QUINTO: TUBERÍA PRIMARIA"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

\*\* En el sistema sólo se requiere una tubería primaria que alimente en el intermedio a la tubería secundaria."

"! (1,1) Longitud de la tubería primaria:"

Long\_prim = 4 [m] "----> Longitud de la tubería secundaria." {Valor determinado a partir de estimaciones con el propietario.} {  
MEDICIÓN }

"! (1,2) Material tubería primaria:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_prim = 14e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_prim = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

Di\_prim = 22e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."

{"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_prim = 29,4e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_prim = 27,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_prim = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_prim = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_prim = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"

Di\_prim = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"

Di\_prim = 45,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_prim = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

!" (2) Límite para la velocidad de circulación del agua:"

"Generalmente, se establece una velocidad máxima del fluido de 3 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad."  
"Sin embargo, como en el sistema de distribución se trabaja con presiones controladas (como si se tratase de una bomba), se recomienda un rango de velocidades de 0,3 a 2,5 [m/s]."

"Entonces, se debe cumplir que:"

$$V_{\text{min.adm}} \leq V_{\text{prim}} \leq V_{\text{máx.adm}}$$

"Donde:"

$V_{\text{prim}} = Q_{\text{dot prim}} / ( (\pi/4) * D_{\text{calc prim}}^2 )$  "[m/s] -----> Velocidad del agua en la tubería primaria."

$V_{\text{prim.min.adm}} = 0,3$  [m/s] "-----> Velocidad mínima admisible del agua en la tubería primaria." {Valor para impedir la deposición en la tubería de cualquier tipo de partícula o impureza.} { FAO }

$V_{\text{prim.máx.adm}} = 2,5$  [m/s] "-----> Velocidad máxima admisible del agua en la tubería primaria." {Valor que pretende contribuir a evitar los fenómenos de golpe de ariete y cavitación.} { FAO }

"Si esta condición no se cumple, se debe SELECCIONAR OTRO DIÁMETRO DE TUBERÍA."

!" (3) Pérdidas de carga en la tubería primaria (h<sub>f,prim</sub>):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que las pérdidas de carga en la tubería primaria son:"

$$h_{f,prim} = ( 1 / 12,1 ) * ( ( f_{prim} * Long_{prim} * Q_{dot prim}^2 ) / ( D_{calc prim}^5 ) )$$
 {REVISAR UNIDADES: Q[m<sup>3</sup>/s], h<sub>f</sub>[mca], D[m], L[m].}

"Donde:"

$$D_{calc prim} = D_{i prim}$$

$f_{prim} = \text{MoodyChart}(Re_{prim}; RR_{prim})$  "-----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$Re_{prim} = ( 4 * Q_{dot prim} ) / ( \pi * D_{calc prim} * \nu )$  "-----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$RR_{prim} = \epsilon_{prim} / D_{calc prim}$  "-----> Rugosidad relativa de la tubería primaria"

{ $\nu = \mu / \rho$  "[m<sup>2</sup>/s] -----> Viscosidad cinemática del agua."}

$\mu = \text{Viscosity}(\text{Water}; T=T_{ref}; P=P_{ref})$  "[kg/m.s] -----> Viscosidad dinámica del agua."

$Q_{dot prim} = Q_{dot sec}$  "[m<sup>3</sup>/s] -----> Caudal en la tubería primaria."

!" (4) Presión en el origen de la tubería primaria:"

"Para la CONDICIÓN CRÍTICA: Las DOS Subunidades en operación, se tiene que:"

$$P_{inicial prim} = P_{inicial sec} + h_{f,prim} + ( \Delta Z_{prim} / 2 )$$

"Donde:"

"-----> Desnivel geométrico entre los extremos de la Primaria: (+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."

$\Delta Z_{prim} = -( \text{Pendiente}_{prim} * Long_{prim} ) / 100$

$\text{Pendiente}_{prim} = 10$  [%] "-----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} { MEDICIÓN }

!" -----> SEXTO: CABEZAL DE RIEGO"

!" (1) Consideraciones iniciales:"

"El sistema de riego va a contar con un cabezal de riego sin grupo de bombeo."

!" (1,1) Elementos en el cabezal de riego:"

"Los elementos que conforman el cabezal de riego por goteo en este sistema son:"

\*\* Unidad de filtrado: Filtros de anillos manuales."

\*\* Válvulas: 1. Válvulas manuales para el cierre de líneas y 2. Válvulas de control de presión."

!" (2) Pérdidas de carga en el cabezal de riego:"

"A las pérdidas de carga producidas en las tuberías hay que añadir las pérdidas ocasionadas en las piezas especiales (si no se han incluido en el cálculo de las pérdidas en tuberías) y en los componentes del cabezal."

"Entonces, las pérdidas de carga en el cabezal están definidas como:"

$$h_{f,cabezal} = \Delta L_{Ah f.comp.cabezal} + \Delta L_{Ah accesorios}$$
 "[mca] -----> Pérdidas de carga en el cabezal." {Valor que debe incluir las pérdidas por accesorios en todo el sistema.} { TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE }

!" (2,1) Pérdidas de carga de los componentes del cabezal:"

"Los fabricantes de los elementos deben proveer los valores correspondientes; sin embargo, esto casi nunca sucede."

"Debido a esto, los siguientes son valores aproximados para ser usados en el diseño:"

$h_{f,\text{filtroanillas}} = 2 \text{ [mca]}$  "----> Pérdidas de carga en el filtro de anillos manual." {Se toma el valor promedio en el rango para asegurar el diseño.} { TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE }

$h_{f,\text{regpres}} = 5 \text{ [mca]}$  "----> Pérdidas de carga en la reguladora de presión." {Se toma el valor promedio en el rango para asegurar el diseño.} { TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE }

$h_{f,\text{valv}} = 2 \text{ [mca]}$  "----> Pérdidas de carga en la válvula de control de caudal." {Se toma el valor promedio en el rango para asegurar el diseño.} { TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE }

"Finalmente, se tiene que:"

$\text{DELTA}h_{f,\text{comp.cabezal}} = h_{f,\text{filtroanillas}} + (h_{f,\text{regpres}}) + (h_{f,\text{valv}})$  "----> Pérdidas de carga totales de los componentes del cabezal de riego."

"Nota: Se pretende usar:"

"(UNA) Válvula manual de PVC: Una al inicio del cabezal."

"(UNA) Válvula hidráulica para controlar la presión de salida en el cabezal de riego."

"! (2,1) Pérdidas de carga por accesorios del sistema (DELTA $h_{\text{accesorios}}$ ):"

"Como no se han tenido en cuenta, debido al carácter despreciable que poseen, se deben revisar por seguridad:"

$\text{DELTA}h_{\text{accesorios}} = h_{\text{acces.lat}} + h_{\text{acces.terc}} + h_{\text{acces.sec}}$  "----> Suma de las pérdidas de carga por accesorios en las DOS Subunidades."

"Más específicamente:" {REVISAR UNIDADES: Q[m<sup>3</sup>/s], h[mca], D[m].}

{Teniendo en cuenta que la velocidad es la que entra a la tubería a través del accesorio.}

$h_{\text{acces.lat}} = K_{\text{lat}} * (V_{\text{terc}}^2 / (2 * g))$  "[mca] ----> Pérdidas de carga localizadas en accesorios de la tubería lateral."

"Donde:"

$A = V_{\text{terc}_2}$

$B = V_{\text{terc}_1}$

$C = V_{\text{terc}_1}$

$V_{\text{terc}} = \text{if}(V_{\text{terc}_1}; V_{\text{terc}_2}; A; B; C)$

$h_{\text{acces.terc}} = K_{\text{terc}} * (V_{\text{sec1}}^2 / (2 * g))$  "[mca] ----> Pérdidas de carga localizadas en accesorios de la tubería terciaria."

$h_{\text{acces.sec}} = K_{\text{sec}} * (V_{\text{prim}}^2 / (2 * g))$  "[mca] ----> Pérdidas de carga localizadas en accesorios de la tubería secundaria."

"Donde los valores específicos para ACCESORIOS EN POLIETILENO (PE):"

$K_{\text{lat}} = 28 * (0,3)$  "----> Coef. de resistencia." {Valor de K para las 28 UNIONES de cada lateral a la línea terciaria que conforman las dos SubUnidades.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }

$K_{\text{terc}} = 2 * (10)$  "----> Coef. de resistencia." {Valor de K para las 2 válvulas de macho al inicio de cada terciaria.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }

$K_{\text{sec}} = 1 * (1,8)$  "----> Coef. de resistencia." {Valor de K para la conexión en T de la tubería primaria a las secundaria.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }

"Siendo:"

$g = 9,73 \text{ [m/s}^2\text{]}$  "----> Aceleración de la gravedad en Colombia."

"! (3) Presión en el origen del Cabezal:"

"Esta será la presión de servicio para alimentar correctamente todo el sistema de riego y asegurar su funcionamiento."

"Con este valor, se inicia el cálculo del Sistema de Transporte."

$\text{P}_{\text{inicial\_cabezal}} = \text{P}_{\text{inicial\_prim}} + h_{f,\text{cabezal}}$  "[mca] ----> Presión de servicio."

"!----- FASE DOS: SISTEMA DE TRANSPORTE -----  
-----"

"Una vez realizados los cálculos del (1) Sistemas de distribución, se inicia el diseño del (2) Sistema de transporte."

"! -----> PRIMERO: TUBERÍA DE TRANSPORTE"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"\* Como se muestra en 'Diagram Window' el punto (1) corresponde a la superficie del agua en el tanque; y, el punto (2) a la entrada del cabezal."

"\* Las características topográficas del sistema son adecuadas para la conducción por gravedad."

"\* Se decide trabajar con dos válvulas al inicio y final del recorrido, para controlar la distribución inicial y la presión al final del sistema de transporte."

"!(1,1) Cotas geométricas (altimétricas):"

"A partir del levantamiento topográfico de la finca Villa María:"

{z\_1 = 30 [m]} "----> Cota geométrica del Punto (1)" {Valor correspondiente a la altura del tanque.}

z\_2 = 0 [m] "----> Cota geométrica del Punto (2)" {Valor correspondiente a la altura del cabezal de riego.}

"!(1,2) Longitud de la tubería de transporte:"

Long\_trans = 100 [m] {Longitud real de la tubería necesaria del punto (1) al punto (2).} { MEDICIÓN }

"!(1,3) Material tubería de transporte:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_trans = 14e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_trans = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

Di\_trans = 22e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_trans = 29,4e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1,3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_trans = 27,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_trans = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_trans = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_trans = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"

Di\_trans = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"

Di\_trans = 45,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_trans = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_trans = 57e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."

epsilon\_trans = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

!" (2) Pérdidas de carga totales en la tubería de transporte:"

"Las pérdidas de carga totales son la suma de las pérdidas de carga por fricción y por accesorios, así:"

$H_f = h_{\text{fricción}} + h_{\text{accesorios}}$  "[mca] -----> Pérdidas de carga totales en la tubería de transporte."

!" (2,1) Pérdidas de carga por fricción ( $h_{\text{fricción}}$ ):"

"Las pérdidas de carga por fricción se determinan a partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach:"

$h_{\text{fricción}} = (1 / 12,1) * ((f_{\text{trans}} * \text{Long}_{\text{trans}} * Q_{\text{dot}_{\text{trans}}}^2) / (D_{\text{calc}_{\text{trans}}}^5))$  {REVISAR UNIDADES:  $Q$ [m<sup>3</sup>/s],  $h_f$ [mca],  $D$ [m],  $L$ [m].}

"Donde:"

$D_{\text{calc}_{\text{trans}}} = D_{\text{i}_{\text{trans}}}$

{ $\epsilon_{\text{trans}} = \epsilon_{\text{trans}}$ }

$f_{\text{trans}} = \text{MoodyChart}(Re_{\text{trans}}; RR_{\text{trans}})$  "----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$Re_{\text{trans}} = (4 * Q_{\text{dot}_{\text{trans}}}) / (\pi * D_{\text{calc}_{\text{trans}}} * \nu)$  "----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$RR_{\text{trans}} = \epsilon_{\text{trans}} / D_{\text{calc}_{\text{trans}}}$  "----> Rugosidad relativa de la tubería de transporte."

$\nu = \mu / \rho$  "[m<sup>2</sup>/s] ----> Viscosidad cinemática del agua."

$\mu = \text{Viscosity}(\text{Water}; T=T_{\text{ref}}; P=P_{\text{ref}})$  "[kg/m.s] ----> Viscosidad dinámica del agua."

$\rho = \text{Density}(\text{Water}; T=T_{\text{ref}}; P=P_{\text{ref}})$  "[kg/m<sup>3</sup>] ----> Densidad del agua."

$T_{\text{ref}} = 25$  [°C] "----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

$P_{\text{ref}} = 101,12$  [kPa] "----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

$Q_{\text{dot}_{\text{trans}}} = Q_{\text{dot}_{\text{prim}}}$  "[m<sup>3</sup>/s] ----> Caudal transportado en la tubería de transporte."

!" (2,2) Pérdidas de carga por accesorios ( $h_{\text{accesorios}}$ ):"

"Las pérdidas de carga localizadas, se determinan a partir de la siguiente ecuación:"

$h_{\text{accesorios}} = K_{\text{trans}} * (V_2^2 / (2 * g))$  "[mca] -----> Pérdidas de carga localizadas en accesorios."

"Donde:"

$K_{\text{trans}} = 1 * (0,2)$  "----> Coef. de resistencia." {Valor de K para Válvulas manuales de PVC.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }

"Nota: Se pretende usar una válvula manual para el cierre al inicio de la línea de transporte."

!" (3) Ecuación de la Energía:"

"A continuación, mediante la ecuación de la energía se determina la altura del tanque de almacenamiento ( $H_1$ ) para el correcto funcionamiento del sistema:"

$H_1 = H_2 + H_f$  "[mca]"

"Donde:"

$H_1 = z_1$  "[mca]-----> Energía en el Punto (1)." {Valor teniendo en cuenta el posicionamiento del Punto (1) donde:  $P_1 = P_{\text{atm}} = 0$  y  $v_1 = 0$ .}

$H_2 = (P_2 / \gamma) + ((V_2^2) / (2 * g)) + z_2$  "[mca]-----> Energía en el Punto (2)." {Valor teniendo en cuenta el posicionamiento del Punto (2).} {REVISAR UNIDADES:  $P_2$  [Pa],  $V_2$  [m/s<sup>2</sup>],  $z$  [m].}

"Siendo:"

$\gamma = \rho * g$  "----> Gravedad específica del agua."

{ $\rho = \text{Density}(\text{Water}; T=T_{\text{ref}}; P=P_{\text{ref}})$ } "----> Densidad del agua a la temperatura y presión de referencia."

{ $g = 9,78$  [m/s<sup>2</sup>] "----> Gravedad en Colombia."}

$P_2_{\text{mca}} = P_2 * (1 [\text{mca}] / 9806,65 [\text{Pa}])$  "----> Presión de operación en el Punto (2) en [mca]."

$P_2 = P_{\text{inicial}_{\text{cabezal}}} * (9806,65 [\text{Pa}] / 1 [\text{mca}])$  "[Pa] ----> La presión de operación mínima en el punto (2)." {Valor convertido a [Pa] y teniendo en cuenta que la presión necesaria en el punto (2) es la presión del cabezal.} "NOTA: Para precisar si la conducción está bien diseñada o no, se debe elegir un diámetro que asegure la presión mínima necesaria en el punto (2), que es la presión inicial que se requiere en el cabezal para el correcto funcionamiento del sistema."

!" (4) Límite para la velocidad de circulación del agua:"

"Generalmente, se establece una velocidad máxima del fluido de 3 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad."

"Sin embargo, se recomienda un rango de velocidades de 0,3 a 2,5 [m/s], para asegurar el funcionamiento adecuado de la instalación"

"Entonces, se debe cumplir que:"

$V_{\text{min.adm}} \leq V_{\text{transporte}} \leq V_{\text{máx.adm}}$

"Donde:"

$V_{\text{transporte}} = V_2$

$V_{\text{transporte}} = Q_{\text{dot}_{\text{trans}}} / ((\pi/4) * D_{\text{calc}_{\text{trans}}}^2)$  "[m/s] ----> Velocidad del agua en la tubería de transporte."

$V_{\text{min.adm}} = 0,3$  [m/s] "----> Velocidad mínima admisible del agua en la tubería de transporte." {Valor para impedir la deposición en la tubería de cualquier tipo de partícula o impureza.} { FAO }

$V_{\text{máx.adm}} = 2,5$  [m/s] "----> Velocidad máxima admisible del agua en la tubería de transporte." {Valor que pretende contribuir a evitar los fenómenos de golpe de ariete y cavitación.} { FAO }

"Si esta condición no se cumple, se debe SELECCIONAR OTRO DIÁMETRO DE TUBERÍA."

"!----- | EXTRA | LONGITUD TOTAL DE TUBERÍAS -----  
 -----"

"! (1) TUBERÍAS LATERALES (PORTA-GOTEROS)"

Long\_total\_L = Long\_total\_L\_1 + Long\_total\_L\_2 "-----> Longitud total de la línea lateral."

"Donde:"

Long\_total\_L\_1 = (N\_laterales\_1a8\_1 \* Long\_lateral\_1a8\_1) + (N\_laterales\_9a12\_1 \* Long\_lateral\_9a12\_1) + (N\_laterales\_13a14\_1 \* Long\_lateral\_13a14\_1) "-----> Longitud total de las laterales en la Subunidad 1."

Long\_total\_L\_2 = (N\_laterales\_1a10\_2 \* Long\_lateral\_1a10\_2) + (N\_laterales\_11a14\_2 \* Long\_lateral\_11a14\_2) "-----> Longitud total de las laterales en la Subunidad 2."

"! (2) TUBERÍAS TERCIARIAS"

Long\_total\_T = Long\_terc\_1 + Long\_terc\_2 "-----> Longitud total de la línea terciaria."

"! (3) TUBERÍA SECUNDARIA"

Long\_total\_S = Long\_sec "-----> Longitud total de la línea secundaria."

"! (4) TUBERÍA PRIMARIA"

Long\_total\_P = Long\_prim "-----> Longitud total de la línea primaria."

"! (5) TUBERÍA DE TRANSPORTE"

Long\_total\_TRANS = Long\_trans "-----> Longitud total de la línea de transporte."

Figura K-6. Código EES - Resultados en el diseño hidráulico disposición doble lateral.

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

A = 0,269 [m/s]

$\beta_{L,1}$  = 1,75

$\beta_{T,1}$  = 1,75

C = 0,2807 [m/s]

Dcalc\_lateral,11a12,2 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,13a14,2 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,1a2,2 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,3a4,2 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,5a6,2 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,7a8,2 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,9a10,2 = 0,014 [m]

Dcalc\_sec1 = 0,022 [m]

$\Delta h_{\text{accesorios}}$  = 0,1429 [mca]

$\Delta H_{u,1}$  = 0,3064 [mca]

$\Delta P_{\text{gotero},1}$  = 10000 [mca]

$\Delta Z_{L11a14,2}$  = -4,995 [m]

$\Delta Z_{L1a10,2}$  = -3,495 [m]

$\Delta Z_{L9a12,1}$  = -3,495 [m]

$\Delta Z_{\text{sec}}$  = 0 [m]

$\Delta Z_{T,2}$  = 0 [m]

Dilateral,2 = 0,014 [m]

Disec = 0,022 [m]

Diterc,2 = 0,022 [m]

B = 0,2807 [m/s]

$\beta_{L,2}$  = 1,75

$\beta_{T,2}$  = 1,75

Dcalc\_lateral,11a12,1 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,13a14,1 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,1a2,1 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,3a4,1 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,5a6,1 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,7a8,1 = 0,014 [m]

Dcalc\_lateral,9a10,1 = 0,014 [m]

Dcalc\_prim = 0,022 [m]

Dcalc\_trans = 0,0294 [m]

$\Delta h_{f,\text{comp.cabezal}}$  = 9 [mca]

$\Delta H_{u,2}$  = 0,2801 [mca]

$\Delta P_{\text{gotero},2}$  = 10000 [mca]

$\Delta Z_{L13a14,1}$  = -1,995 [m]

$\Delta Z_{L1a8,1}$  = -4,995 [m]

$\Delta Z_{\text{prim}}$  = -0,4 [m]

$\Delta Z_{T,1}$  = -3,77 [m]

Dilateral,1 = 0,014 [m]

Diprim = 0,022 [m]

Diterc,1 = 0,022 [m]

Ditrans = 0,0294 [m]

$\epsilon_{\text{lateral},1} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},11a12,2} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},13a14,2} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},1a2,2} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},3a4,1} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},5a6,1} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},7a8,1} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},9a10,1} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{prim}} = 0,0015$  [m]  
 $\epsilon_{\text{sec1}} = 0,0015$  [m]  
 $\epsilon_{\text{terc},2} = 0,0015$  [m]  
 $F_{cL,11a14,2} = 0,4284$  [adimensional]  
 $F_{cL,1a10,2} = 0,451$  [adimensional]  
 $F_{cL,9a12,1} = 0,451$  [adimensional]  
 $F_{cT,2} = 0,4001$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},11a12,2} = 0,07069$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},13a14,2} = 0,07069$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},1a2,2} = 0,09426$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},3a4,2} = 0,09426$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},5a6,2} = 0,09426$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},7a8,2} = 0,09426$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},9a10,2} = 0,09426$  [adimensional]  
 $f_{\text{sec1}} = 0,08753$  [adimensional]  
 $f_{\text{terc},1} = 0,08753$  [adimensional]  
 $f_{\text{trans}} = 0,07118$   
 $\gamma = 9701$  [N/m<sup>3</sup>]  
 $H_2 = 18,43$  [mca]  
 $h_{\text{acces.sec}} = 0,02794$  [mca]  
 $h_{\text{accesorios}} = 0,0009735$  [m]  
 $h_{\text{f.cabezal}} = 9,143$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral.admisible},1} = 5500$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral.real},1} = 0,06537$  [mca]  
 $h_{\text{f.laterales},1} = 0,06537$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},11a12,1} = 0,003384$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},13a14,1} = 0,001421$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},1a2,1} = 0,006125$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},3a4,1} = 0,006125$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},5a6,1} = 0,006125$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},7a8,1} = 0,006125$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},9a10,1} = 0,003384$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},11a12,1} = 0,007503$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},13a14,1} = 0,002855$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},1a2,1} = 0,0143$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},3a4,1} = 0,0143$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},5a6,1} = 0,0143$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},7a8,1} = 0,0143$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},9a10,1} = 0,007503$  [mca]  
 $h_{\text{f.prim}} = 0,2394$  [mca]

$\epsilon_{\text{lateral},11a12,1} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},13a14,1} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},1a2,1} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},2} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},3a4,2} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},5a6,2} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},7a8,2} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{lateral},9a10,2} = 0,001$  [m]  
 $\epsilon_{\text{sec}} = 0,0015$  [m]  
 $\epsilon_{\text{terc},1} = 0,0015$  [m]  
 $\epsilon_{\text{trans}} = 0,0013$  [m]  
 $F_{cL,13a14,1} = 0,4977$  [adimensional]  
 $F_{cL,1a8,1} = 0,4284$  [adimensional]  
 $F_{cT,1} = 0,4001$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},11a12,1} = 0,09426$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},13a14,1} = 0,1414$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},1a2,1} = 0,07069$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},3a4,1} = 0,07069$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},5a6,1} = 0,07069$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},7a8,1} = 0,07069$  [adimensional]  
 $f_{\text{lateral},9a10,1} = 0,09426$  [adimensional]  
 $f_{\text{prim}} = 0,08551$  [adimensional]  
 $f_{\text{sec2}} = 0,08771$   
 $f_{\text{terc},2} = 0,08771$  [adimensional]  
 $g = 9,73$  [m/s<sup>2</sup>]  
 $H_1 = 19,6$  [mca]  
 $h_{\text{acces.lat}} = 0,034$  [mca]  
 $h_{\text{acces.terc}} = 0,08096$  [mca]  
 $H_{\text{f}} = 1,17$  [mca]  
 $h_{\text{f.filtroanillas}} = 2$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral.admisible},2} = 5500$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral.real},2} = 0,05834$  [mca]  
 $h_{\text{f.laterales},2} = 0,05834$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},11a12,2} = 0,006125$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},13a14,2} = 0,006125$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},1a2,2} = 0,003384$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},3a4,2} = 0,003384$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},5a6,2} = 0,003384$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},7a8,2} = 0,003384$  [mca]  
 $h_{\text{f.lateral},9a10,2} = 0,003384$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},11a12,2} = 0,0143$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},13a14,2} = 0,0143$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},1a2,2} = 0,007503$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},3a4,2} = 0,007503$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},5a6,2} = 0,007503$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},7a8,2} = 0,007503$  [mca]  
 $h_{\text{f.L},9a10,2} = 0,007503$  [mca]  
 $h_{\text{f.regpres}} = 5$  [mca]

$hf.sec = 0,6322$  [mca]  
 $hf.sec2 = 0,6322$  [mca]  
 $hf.terc.admisible,2 = 10000$  [mca]  
 $hf.terc,2 = 0,2218$  [mca]  
 $hf.T,2 = 0,5543$  [mca]  
 $hf.fricción = 1,169$  [mca]  
 $K2 = 4$  [adimensional]  
 $Ksec = 1,8$  [adimensional]  
 $Ktrans = 0,2$   
 $Longlateral,0,2 = 0,5$  [m]  
 $Longlateral,13a14,1 = 6,65$  [m]  
 $Longlateral,1a8,1 = 16,65$  [m]  
 $Longlateral,extra,1 = 0,15$  [m]  
 $Longlateral,e,1 = 1$  [m]  
 $Longlateral,g,1 = 4$  [m]  
 $Longprim = 4$  [m]  
 $Longsec1 = 1$  [m]  
 $Longterc,0,1 = 0,5$  [m]  
 $Longterc,1 = 37,7$  [m]  
 $Longterc,extra,1 = 0,2$  [m]  
 $Longterc,e,1 = 1$  [m]  
 $Longterc,g,1 = 5$  [m]  
 $Longtotal,L = 376,2$   
 $Longtotal,L,2 = 183,1$   
 $Longtotal,S = 44$  [m]  
 $Longtotal,TRANS = 100$  [m]  
 $\mu = 0,0008905$  [kg/m.s]  
 $N1,1 = 2$   
 $N2,1 = 7$   
 $Narboles,11a14,2 = 4$   
 $Narboles,1a10,2 = 3$   
 $Narboles,9a12,1 = 3$   
 $Ngotos,11a14,2 = 8$  [laterales]  
 $Ngotos,1a10,2 = 6$  [laterales]  
 $Ngotos,2 = 4$   
 $Nlat1,1 = 2$   
 $Nlaterales,1 = 14$  [laterales]  
 $Nlaterales,13a14,1 = 2$  [laterales]  
 $Nlaterales,1a8,1 = 8$  [laterales]  
 $Nlaterales,9a12,1 = 4$  [laterales]  
 $Pendiente2 = 30$  [%]  
 $PendienteT1 = 10$  [%]  
 $Pinicialcabezal = 18,23$  [mca]  
 $PinicialL,11a12,2 = 7,507$  [mca]  
 $PinicialL,13a14,2 = 7,507$  [mca]

$hf.sec1 = 0,01598$  [mca]  
 $hf.terc.admisible,1 = 10000$  [mca]  
 $hf.terc,1 = 0,241$  [mca]  
 $hf.T,1 = 0,6024$  [mca]  
 $hf.valv = 2$  [mca]  
 $K1 = 4$  [adimensional]  
 $Klat = 8,4$  [adimensional]  
 $Kterc = 20$  [adimensional]  
 $Longlateral,0,1 = 0,5$  [m]  
 $Longlateral,11a14,2 = 16,65$  [m]  
 $Longlateral,1a10,2 = 11,65$  [m]  
 $Longlateral,9a12,1 = 11,65$  [m]  
 $Longlateral,extra,2 = 0,15$  [m]  
 $Longlateral,e,2 = 1$  [m]  
 $Longlateral,g,2 = 4$  [m]  
 $Longsec = 44$  [m]  
 $Longsec2 = 43$  [m]  
 $Longterc,0,2 = 0,5$  [m]  
 $Longterc,2 = 37,7$  [m]  
 $Longterc,extra,2 = 0,2$  [m]  
 $Longterc,e,2 = 1$  [m]  
 $Longterc,g,2 = 5$  [m]  
 $Longtotal,L,1 = 193,1$   
 $Longtotal,P = 4$  [m]  
 $Longtotal,T = 75,4$  [m]  
 $Longtrans = 100$  [m]  
 $v = 8,931E-07$  [m<sup>2</sup>/s]  
 $N1,2 = 2$   
 $N2,2 = 7$   
 $Narboles,13a14,1 = 2$   
 $Narboles,1a8,1 = 4$   
 $Ngotos,1 = 4$  [goteros]  
 $Ngotos,13a14,1 = 4$  [goteros]  
 $Ngotos,1a8,1 = 8$  [goteros]  
 $Ngotos,9a12,1 = 6$  [goteros]  
 $Nlat1,2 = 2$   
 $Nlaterales,11a14,2 = 4$  [laterales]  
 $Nlaterales,1a10,2 = 10$  [laterales]  
 $Nlaterales,2 = 14$  [laterales]  
 $Pendiente1 = 30$  [%]  
 $Pendienteprim = 10$  [%]  
 $Pinicial.mayorTerc = 8,417$  [mca]  
 $PinicialL,11a12,1 = 8,255$  [mca]  
 $PinicialL,13a14,1 = 9,004$  [mca]  
 $PinicialL,1a2,1 = 7,507$  [mca]

$P_{inicialL,1a2,2} = 8,255$  [mca]  
 $P_{inicialL,3a4,2} = 8,255$  [mca]  
 $P_{inicialL,5a6,2} = 8,255$  [mca]  
 $P_{inicialL,7a8,2} = 8,255$  [mca]  
 $P_{inicialL,9a10,2} = 8,255$  [mca]  
 $P_{inicialsec} = 9,049$  [mca]  
 $P_{inicialsec2} = 9,049$   
 $P_{inicialT,2} = 8,417$  [mca]  
 $P_{medial,2} = 10$  [mca]  
 $P_{mediat,2} = 8,255$  [mca]  
 $P_{nomL,2} = 10$  [mca]  
 $P_{nomT,2} = 8,255$  [mca]  
 $Porc.variac.caudal2 = 0,0002841$  [%]  
 $Porcentajeperm,2 = 1000$  [%]  
 $P_{2,mca} = 18,23$  [mca]  
 $P_{gotero,2} = 10$  [mca]  
 $P_{min,2} = 9,72$  [mca]  
 $P_{máx,2} = 10$  [mca]  
 $Q_{gotero,1} = 0,000001111$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{lateral11a14,2} = 0,000008891$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{lateral1a10,2} = 0,000006668$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{lateral9a12,1} = 0,000006668$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{sec} = 0,0002089$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{sec2} = 0,0001022$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{terc,2} = 0,0001022$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{gotero,1} = 4,001$  [L/h]  
 $Q_{min,1} = 4,001$  [L/h]  
 $Relateral,11a12,1 = 679$  [adimensional]  
 $Relateral,13a14,1 = 452,7$  [adimensional]  
 $Relateral,1a2,1 = 905,3$  [adimensional]  
 $Relateral,3a4,1 = 905,3$  [adimensional]  
 $Relateral,5a6,1 = 905,3$  [adimensional]  
 $Relateral,7a8,1 = 905,3$  [adimensional]  
 $Relateral,9a10,1 = 679$  [adimensional]  
 $Reprim = 13539$  [adimensional]  
 $Resec2 = 6625$   
 $Reterc,2 = 6625$  [adimensional]  
 $\rho = 997,1$  [kg/m<sup>3</sup>]  
 $RR_{lateral,11a12,2} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,13a14,2} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,1a2,2} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,3a4,2} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,5a6,2} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,7a8,2} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,9a10,2} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{sec1} = 0,06818$  [adimensional]

$P_{inicialL,3a4,1} = 7,507$  [mca]  
 $P_{inicialL,5a6,1} = 7,507$  [mca]  
 $P_{inicialL,7a8,1} = 7,507$  [mca]  
 $P_{inicialL,9a10,1} = 8,255$  [mca]  
 $P_{inicialprim} = 9,089$  [mca]  
 $P_{inicialsec1} = 7,31$   
 $P_{inicialT,1} = 7,294$  [mca]  
 $P_{medial,1} = 10$  [mca]  
 $P_{mediat,1} = 9,004$  [mca]  
 $P_{nomL,1} = 10$  [mca]  
 $P_{nomT,1} = 9,004$  [mca]  
 $Porc.variac.caudal1 = 0,0003112$  [%]  
 $Porcentajeperm,1 = 1000$  [%]  
 $P_2 = 178790$  [Pa]  
 $P_{gotero,1} = 10$  [mca]  
 $P_{min,1} = 9,694$  [mca]  
 $P_{máx,1} = 10$  [mca]  
 $P_{ref} = 101,1$  [kPa]  
 $Q_{gotero,2} = 0,000001111$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{lateral13a14,1} = 0,000004445$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{lateral1a8,1} = 0,000008891$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{prim} = 0,0002089$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{sec1} = 0,0001067$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{terc,1} = 0,0001067$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{trans} = 0,0002089$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $Q_{gotero,2} = 4,001$  [L/h]  
 $Q_{min,2} = 4,001$  [L/h]  
 $Relateral,11a12,2 = 905,3$  [adimensional]  
 $Relateral,13a14,2 = 905,3$  [adimensional]  
 $Relateral,1a2,2 = 679$  [adimensional]  
 $Relateral,3a4,2 = 679$  [adimensional]  
 $Relateral,5a6,2 = 679$  [adimensional]  
 $Relateral,7a8,2 = 679$  [adimensional]  
 $Relateral,9a10,2 = 679$  [adimensional]  
 $Resec1 = 6914$  [adimensional]  
 $Reterc,1 = 6914$  [adimensional]  
 $Retrans = 10131$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,11a12,1} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,13a14,1} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,1a2,1} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,3a4,1} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,5a6,1} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,7a8,1} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{lateral,9a10,1} = 0,07143$  [adimensional]  
 $RR_{prim} = 0,06818$  [adimensional]  
 $RR_{terc,1} = 0,06818$  [adimensional]

$RR_{terc,2} = 0,06818$   
 $T_{ref} = 25 \text{ [}^\circ\text{C]}$   
 $V_{min.adm} = 0,3 \text{ [m/s]}$   
 $V_{prim} = 0,5496 \text{ [m/s]}$   
 $V_{prim.máx.adm} = 2,5 \text{ [m/s]}$   
 $V_{sec.máx.adm} = 2,5 \text{ [m/s]}$   
 $V_{sec2} = 0,269 \text{ [m/s]}$   
 $V_{terc,1} = 0,2807 \text{ [m/s]}$   
 $V_{transporte} = 0,3078 \text{ [m/s]}$   
 $x_1 = 0,0001 \text{ [adimensional]}$   
 $Y = 7,294$   
 $z_1 = 19,6 \text{ [m]}$

$RR_{trans} = 0,04422 \text{ [adimensional]}$   
 $V_2 = 0,3078 \text{ [m/s]}$   
 $V_{máx.adm} = 2,5 \text{ [m/s]}$   
 $V_{prim.min.adm} = 0,3 \text{ [m/s]}$   
 $V_{sec.min.adm} = 0,3 \text{ [m/s]}$   
 $V_{sec1} = 0,2807 \text{ [m/s]}$   
 $V_{terc} = 0,2807 \text{ [m/s]}$   
 $V_{terc,2} = 0,269 \text{ [m/s]}$   
 $X = 8,417$   
 $x_2 = 0,0001 \text{ [adimensional]}$   
 $Z = 7,294$   
 $z_2 = 0 \text{ [m]}$

Figura K-7. Código EES - Ecuaciones en el diseño hidráulico disposición de zigzag.

```

"! -----| DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO |-----"
"! -----| SECCIÓN DOS : DISEÑO HIDRÁULICO |-----"
"! -----| CONFIGURACIÓN : ZIGZAG |-----"

"! -----> CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO:"
"* El procedimiento de cálculo inicia desde el gotero hasta la fuente de agua."
"* El sistema de riego se divide en dos fases: (1) Sistemas de distribución y (2) Sistema de transporte."
"* El área de cultivo se divide en dos Subunidades."
"* Como el procedimiento de cálculo se inicia en el gotero, primero se aborda el (1) Sistema de distribución, y, con los datos de presión y caudal necesarios para el riego de las subunidades, se inicia el cálculo del (2) Sistema de transporte."

"!----- FASE UNO: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN -----"
"!-----"

"* El procedimiento de cálculo inicia desde el gotero hasta la fuente de agua."
"* Las DOS SUBUNIDADES se calculan de forma independiente debido a las diferencias en cada una."

"!----- SUBUNIDAD 1 -----"
"!-----"

"El esquema se muestra en 'Diagram Window (Ctrl+D)'. La distribución de las líneas y la nomenclatura de los mismos."

"! -----> PRIMERO: GOTERO"
"! (1) Consideraciones iniciales:"
"* Tipo de gotero: AC - AutoCompensado."
"* Referencia: PCJ Dripper"
"* Catálogo: Netafim Drippers."

"! (2) Ecuación de descarga de un gotero:"
"Expresión válida para cualquier tipo de gotero:"
 $Q_{gotero\_1} = K_1 * (P_{gotero\_1})^{x_1}$  "----> Caudal del gotero en [L/h]."
 $Q_{dot\_gotero\_1} = Q_{gotero\_1} * convert(L/h; m^3/s)$  "----> Caudal del gotero en [m^3/s]."
"Donde:"
 $K_1 = 4$  "----> Coeficiente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar.]} {CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS}
 $x_1 = 0,0001$  "----> Exponente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar.]} {CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS}
 $P_{gotero\_1} = 10 \text{ [mca]}$  "----> Presión de trabajo en el gotero." {Valor de la Presión nominal en el gotero.} {CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS}

```

"NOTA: El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo limita la variación máxima de caudal a un 10% en el lateral y por extensión en la unidad de riego, criterio que se aplica a todo tipo de goteros."

"! (3) Máxima variación de la presión:"

$DELTA P_{gotero\_1} = Porcentaje\_perm\_1 * P_{gotero\_1}$

Porcentaje\_perm\_1 = 0,1 / x\_1 "----> Porcentaje permisible de la variación de la P\_gotero para no sobrepasar 10% en la variación del caudal."

"! -----> SEGUNDO: TUBERÍAS LATERALES"

"Teniendo en cuenta que el área de cultivo cuenta con CATORCE CALLES (Sin contar los dos árboles solos), se determina dividir el cultivo en dos secciones, cada una con SIETE CALLES."

"Como se especifica en el título inicial, este es el código de cálculo para la primera sección: SUBUNIDAD 1."

"A continuación, se asignan subíndices a cada lateral del 1 al 7, teniendo en cuenta que el Diseño Agronómico arrojó un número mínimo de dos emisores por árbol."

"La disposición de los laterales se muestra en el esquema."

"NOTA: Se decide trabajar cada grupo de laterales de forma independiente para realizar variaciones en el diámetro de las mangueras, buscando minizar costos y mejorar el sistema."

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"El número de emisores (goteros):"

$N_{goteros\_1} = 4$  "----> Número de goteros por cada árbol presente en la SubUnidad" {Resultado del Diseño Agronómico.}

$N_{goteros\_1a4\_1} = N_{goteros\_1} * N_{arboles\_1a4\_1}$  "----> Número de goteros en cada lateral del grupo 1 a 4."

$N_{goteros\_5a6\_1} = N_{goteros\_1} * N_{arboles\_5a6\_1}$  "----> Número de goteros en cada lateral del grupo 5 a 6."

$N_{goteros\_7\_1} = N_{goteros\_1} * N_{arboles\_7\_1}$  "----> Número de goteros en cada lateral del grupo 7."

"[m] ----> Longitud del lateral." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios equidistantes y primer emisor separado.} { UNIVERSIDAD JAUME I }

"Para cada grupo de laterales:"

$Long\_lateral\_1a4\_1 = (Long\_lateral\_0\_1 - Long\_lateral\_g\_1) + (N_{lat1\_1} * N_{arboles\_1a4\_1} * Long\_lateral\_e\_1) + ((Long\_lateral\_g\_1 - Long\_lateral\_e\_1) * N_{arboles\_1a4\_1}) + Long\_lateral\_extra\_1$

$Long\_lateral\_5a6\_1 = (Long\_lateral\_0\_1 - Long\_lateral\_g\_1) + (N_{lat1\_1} * N_{arboles\_5a6\_1} * Long\_lateral\_e\_1) + ((Long\_lateral\_g\_1 - Long\_lateral\_e\_1) * N_{arboles\_5a6\_1}) + Long\_lateral\_extra\_1$

$Long\_lateral\_7\_1 = (Long\_lateral\_0\_1 - Long\_lateral\_g\_1) + (N_{lat1\_1} * N_{arboles\_7\_1} * Long\_lateral\_e\_1) + ((Long\_lateral\_g\_1 - Long\_lateral\_e\_1) * N_{arboles\_7\_1}) + Long\_lateral\_extra\_1$

"Donde:"

$Long\_lateral\_0\_1 = 0,5$  [m] "----> Distancia desde el inicio del lateral al primer emisor." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

$Long\_lateral\_g\_1 = 4$  [m] "----> Distancia entre grupos de emisores." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

$Long\_lateral\_e\_1 = 1$  [m] "----> Distancia de separación entre emisores." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

$Long\_lateral\_extra\_1 = 0,15$  [m] "----> Longitud lateral excedente."

$N_{lat1\_1} = 4$  "[goteros] ----> Número de emisores por grupo." {Valor aplicable a todos los laterales.} { CÁLCULO D. AGRONÓMICO }

$N_{arboles\_1a4\_1} = 4$  "----> Número de árboles en los laterales 1 a 4."

$N_{arboles\_5a6\_1} = 3$  "----> Número de árboles en los laterales 5 a 6."

$N_{arboles\_7\_1} = 2$  "----> Número de árboles en los laterales 7."

"! (1.1) Material tuberías laterales:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: MANGUERA DE 16mm Y 20mm LAS MÁS USADAS PARA LÍNEAS PORTAGOTEROS EN EL MERCADO."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

$Di\_lateral\_1 = 14e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

$epsilon\_lateral\_1 = 1e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral."

{ "OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

$Di\_lateral\_1 = 17,6e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

$epsilon\_lateral\_1 = 1,2e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral." }

"! (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

"DELTAH\_u <= DELTAP\_gotero"

"Es decir:"

"DELTAH\_u <= ( 0,1 / x ) \* P\_nominal"

"Donde:"

{DELTAH\_u = h\_f.laterales + h\_f.terciarias} "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías." {REVISAR: CÓMO ANALIZAR ESAS PÉRDIDAS}

DELTAH\_u\_1 = h\_f.laterales\_1 + h\_f.terc\_1

h\_f.laterales\_1 = h\_f.lateral\_1\_1 + h\_f.lateral\_2\_1 + h\_f.lateral\_3\_1 + h\_f.lateral\_4\_1 + h\_f.lateral\_5\_1 + h\_f.lateral\_6\_1 + h\_f.lateral\_7\_1 "----> Pérdidas de carga totales en las laterales de la SUBUNIDAD 1."

"! (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del h\_f.lateral.calculado con el valor de h\_f.lateral.admisible."

h\_f.lateral.admisible\_1 = (0,055 / x\_1) \* P\_gotero\_1 "----> Según criterio económico que busca el coste mínimo de la Instalación, y en el que se estable que: 55% DELTAH\_u = h\_f.laterales y 45% DELTAH\_u = h\_f.terciarias."

"Se debe cumplir que:"

"h\_f.lateral.calculado <= h\_f.lateral.admisible"

"! (4) Pérdidas de Carga en el Lateral:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a los goteros):"

"Para cada grupo de laterales:"

h\_f.lateral\_1\_1 = h\_f.L\_1\_1 \* F\_cL\_1a4\_1

h\_f.lateral\_2\_1 = h\_f.L\_2\_1 \* F\_cL\_1a4\_1

h\_f.lateral\_3\_1 = h\_f.L\_3\_1 \* F\_cL\_1a4\_1

h\_f.lateral\_4\_1 = h\_f.L\_4\_1 \* F\_cL\_1a4\_1

h\_f.lateral\_5\_1 = h\_f.L\_5\_1 \* F\_cL\_5a6\_1

h\_f.lateral\_6\_1 = h\_f.L\_6\_1 \* F\_cL\_5a6\_1

h\_f.lateral\_7\_1 = h\_f.L\_7\_1 \* F\_cL\_7\_1

"! (4,1) Coeficiente de Christiansen (F\_c):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

"Para cada grupo de laterales:"

F\_cL\_1a4\_1 = ( 1 / (1 + beta\_L\_1) ) + ( 1 / (2\*N\_goteros\_1a4\_1) ) + ( (beta\_L\_1 - 1)^(1/2) / (6\*N\_goteros\_1a4\_1^2) )

F\_cL\_5a6\_1 = ( 1 / (1 + beta\_L\_1) ) + ( 1 / (2\*N\_goteros\_5a6\_1) ) + ( (beta\_L\_1 - 1)^(1/2) / (6\*N\_goteros\_5a6\_1^2) )

F\_cL\_7\_1 = ( 1 / (1 + beta\_L\_1) ) + ( 1 / (2\*N\_goteros\_7\_1) ) + ( (beta\_L\_1 - 1)^(1/2) / (6\*N\_goteros\_7\_1^2) )

"Donde:"

beta\_L\_1 = 1,75 {Tubería de PE 100% según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} {VALORES PRÁCTICOS SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{O, Beta se puede 'CALCULAR' así: beta = (37530/Re)^16}

"! (4,2) Pérdidas de carga en el Lateral (h\_f.L):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:" {REVISAR UNIDADES: Q [m³/s], h\_f [mca], D[m], L[m].}

"Para cada grupo de laterales:"

h\_f.L\_1\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_1\_1 \* Long\_lateral\_1a4\_1 \* Q\_dot\_lateral1a4\_1 ^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_1\_1^5 ) )

h\_f.L\_2\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_2\_1 \* Long\_lateral\_1a4\_1 \* Q\_dot\_lateral1a4\_1 ^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_2\_1^5 ) )

h\_f.L\_3\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_3\_1 \* Long\_lateral\_1a4\_1 \* Q\_dot\_lateral1a4\_1 ^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_3\_1^5 ) )

h\_f.L\_4\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_4\_1 \* Long\_lateral\_1a4\_1 \* Q\_dot\_lateral1a4\_1 ^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_4\_1^5 ) )

h\_f.L\_5\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_5\_1 \* Long\_lateral\_5a6\_1 \* Q\_dot\_lateral5a6\_1 ^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_5\_1^5 ) )

h\_f.L\_6\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_6\_1 \* Long\_lateral\_5a6\_1 \* Q\_dot\_lateral5a6\_1 ^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_6\_1^5 ) )

h\_f.L\_7\_1 = ( 1 / 12,1 ) \* ( ( f\_lateral\_7\_1 \* Long\_lateral\_7\_1 \* Q\_dot\_lateral7\_1 ^2 ) / ( Dcalc\_lateral\_7\_1^5 ) )

"Donde:"

"----> Diámetro interno de cada grupo de laterales."

"Seleccionar los valores de diámetro deseados para cada grupo de laterales teniendo en cuenta las opciones del catálogo:"

Dcalc\_lateral\_1\_1 = Di\_lateral\_1

Dcalc\_lateral\_2\_1 = Di\_lateral\_1

Dcalc\_lateral\_3\_1 = Di\_lateral\_1

Dcalc\_lateral\_4\_1 = Di\_lateral\_1

Dcalc\_lateral\_5\_1 = Di\_lateral\_1

Dcalc\_lateral\_6\_1 = Di\_lateral\_1

Dcalc\_lateral\_7\_1 = Di\_lateral\_1

"----> Espesor de la pared de cada grupo de laterales."

"Ingresar los valores de espesor de la pared de la tubería de cada grupo de laterales según el modelo seleccionado:"

epsilon\_lateral\_1\_1 = epsilon\_lateral\_1  
epsilon\_lateral\_2\_1 = epsilon\_lateral\_1  
epsilon\_lateral\_3\_1 = epsilon\_lateral\_1  
epsilon\_lateral\_4\_1 = epsilon\_lateral\_1  
epsilon\_lateral\_5\_1 = epsilon\_lateral\_1  
epsilon\_lateral\_6\_1 = epsilon\_lateral\_1  
epsilon\_lateral\_7\_1 = epsilon\_lateral\_1

"----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

f\_lateral\_1\_1 = MoodyChart(Re\_lateral\_1\_1; RR\_lateral\_1\_1)  
f\_lateral\_2\_1 = MoodyChart(Re\_lateral\_2\_1; RR\_lateral\_2\_1)  
f\_lateral\_3\_1 = MoodyChart(Re\_lateral\_3\_1; RR\_lateral\_3\_1)  
f\_lateral\_4\_1 = MoodyChart(Re\_lateral\_4\_1; RR\_lateral\_4\_1)  
f\_lateral\_5\_1 = MoodyChart(Re\_lateral\_5\_1; RR\_lateral\_5\_1)  
f\_lateral\_6\_1 = MoodyChart(Re\_lateral\_6\_1; RR\_lateral\_6\_1)  
f\_lateral\_7\_1 = MoodyChart(Re\_lateral\_7\_1; RR\_lateral\_7\_1)

"----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

Re\_lateral\_1\_1 = (4 \* Q\_dot\_lateral1a4\_1) / (pi \* Dcalc\_lateral\_1\_1 \* nu)  
Re\_lateral\_2\_1 = (4 \* Q\_dot\_lateral1a4\_1) / (pi \* Dcalc\_lateral\_2\_1 \* nu)  
Re\_lateral\_3\_1 = (4 \* Q\_dot\_lateral1a4\_1) / (pi \* Dcalc\_lateral\_3\_1 \* nu)  
Re\_lateral\_4\_1 = (4 \* Q\_dot\_lateral1a4\_1) / (pi \* Dcalc\_lateral\_4\_1 \* nu)  
Re\_lateral\_5\_1 = (4 \* Q\_dot\_lateral5a6\_1) / (pi \* Dcalc\_lateral\_5\_1 \* nu)  
Re\_lateral\_6\_1 = (4 \* Q\_dot\_lateral5a6\_1) / (pi \* Dcalc\_lateral\_6\_1 \* nu)  
Re\_lateral\_7\_1 = (4 \* Q\_dot\_lateral7\_1) / (pi \* Dcalc\_lateral\_7\_1 \* nu)

"----> Caudal en el Lateral."

Q\_dot\_lateral1a4\_1 = N\_goteros\_1a4\_1 \* Q\_dot\_gotero\_1 "[m^3/s]"

Q\_dot\_lateral5a6\_1 = N\_goteros\_5a6\_1 \* Q\_dot\_gotero\_1 "[m^3/s]"

Q\_dot\_lateral7\_1 = N\_goteros\_7\_1 \* Q\_dot\_gotero\_1 "[m^3/s]"

nu = mu / rho "[m^2/s]" ----> Viscosidad cinemática del agua."

mu = Viscosity(Water;T=T\_ref;P=P\_ref) "[kg/m.s]" ----> Viscosidad dinámica del agua."

rho = Density(Water;T=T\_ref;P=P\_ref) "[kg/m^3]" ----> Densidad del agua."

T\_ref = 25 [°C]" ----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

P\_ref = 101,12 [kPa]" ----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

"----> Radio relativo del Lateral."

RR\_lateral\_1\_1 = epsilon\_lateral\_1\_1 / Dcalc\_lateral\_1\_1  
RR\_lateral\_2\_1 = epsilon\_lateral\_2\_1 / Dcalc\_lateral\_2\_1  
RR\_lateral\_3\_1 = epsilon\_lateral\_3\_1 / Dcalc\_lateral\_3\_1  
RR\_lateral\_4\_1 = epsilon\_lateral\_4\_1 / Dcalc\_lateral\_4\_1  
RR\_lateral\_5\_1 = epsilon\_lateral\_5\_1 / Dcalc\_lateral\_5\_1  
RR\_lateral\_6\_1 = epsilon\_lateral\_6\_1 / Dcalc\_lateral\_6\_1  
RR\_lateral\_7\_1 = epsilon\_lateral\_7\_1 / Dcalc\_lateral\_7\_1

"! (5) Presión en el origen del Lateral:"

"Para cada grupo de laterales:"

Pinicial\_L\_1\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_1\_1 + (DELTAZ\_L1a4\_1 / 2)

Pinicial\_L\_2\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_2\_1 + (DELTAZ\_L1a4\_1 / 2)

Pinicial\_L\_3\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_3\_1 + (DELTAZ\_L1a4\_1 / 2)

Pinicial\_L\_4\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_4\_1 + (DELTAZ\_L1a4\_1 / 2)

Pinicial\_L\_5\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_5\_1 + (DELTAZ\_L5a6\_1 / 2)

Pinicial\_L\_6\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_6\_1 + (DELTAZ\_L5a6\_1 / 2)

Pinicial\_L\_7\_1 = Pmedia\_L\_1 + 0,73\*h\_f.lateral\_7\_1 + (DELTAZ\_L7\_1 / 2)

"Donde:"

Pmedia\_L\_1 = Pnom\_L\_1" ----> Presión media en el lateral que debe coincidir con la presión nominal."

Pnom\_L\_1 = P\_gotero\_1" ----> Presión nominal o presión a la que el gotero emite el caudal nominal durante el funcionamiento."

"----> Desnivel geométrico entre los extremos del lateral: (+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."

DELTAZ\_L1a4\_1 = - ( Pendiente\_1\*Long\_lateral\_1a4\_1 ) / 100

DELTAZ\_L5a6\_1 = - ( Pendiente\_1\*Long\_lateral\_5a6\_1 ) / 100

DELTAZ\_L7\_1 = - ( Pendiente\_1\*Long\_lateral\_7\_1 ) / 100

Pendiente\_1 = 30 [%]" ----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} { MEDICIÓN }

"! -----> TERCERO: TUBERÍAS TERCIARIAS"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"Número de laterales:"

$N_{laterales\_1} = N_{laterales\_1a4\_1} + N_{laterales\_5a6\_1} + N_{laterales\_7\_1}$  "----> Número total de laterales."

$N_{laterales\_1a4\_1} = 4$  "----> Número de laterales del 1 al 4."

$N_{laterales\_5a6\_1} = 2$  "----> Número de laterales del 5 al 6."

$N_{laterales\_7\_1} = 1$  "----> Número de laterales del 7."

"----> Longitud de la tubería terciaria." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios agrupados.}

{ UNIVERSIDAD JAUME I }

$Long\_terc\_1 = Long\_terc\_0\_1 + ((N_{laterales\_1} - 1) * Dist\_lat\_1) + Long\_terc\_extra\_1$  "[m]"

"Donde:"

$Long\_terc\_0\_1 = 0,5$  [m] "----> Distancia desde el inicio de la tubería terciaria al primer lateral." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

$Dist\_lat\_1 = 6$  [m] "----> Distancia entre laterales." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }

$Long\_terc\_extra\_1 = 0,2$  [m] "----> Longitud excedente final en la tubería terciaria."

"! (1.1) Material tuberías terciarias:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

$Di\_terc\_1 = 14e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon\_terc\_1 = 1e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

$Di\_terc\_1 = 17,6e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon\_terc\_1 = 1,2e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

$Di\_terc\_1 = 22e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon\_terc\_1 = 1,5e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

{"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

$Di\_terc\_1 = 29,4e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon\_terc\_1 = 1,3e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

$Di\_terc\_1 = 27,2e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon\_terc\_1 = 2,4e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

$Di\_terc\_1 = 36,8e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon\_terc\_1 = 1,6e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

$Di\_terc\_1 = 34e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon\_terc\_1 = 3e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

$Di\_terc\_1 = 36,2e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon\_terc\_1 = 1,9e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"

$Di\_terc\_1 = 46e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon\_terc\_1 = 2e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

{"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"

$Di\_terc\_1 = 45,2e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

$epsilon\_terc\_1 = 2,4e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."}

"! (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

$$\text{"DELTAH}_u \leq (0,1 / x) * P_{\text{nominal}}$$

"! (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del  $h_{f, \text{terc}}$  calculado, con el valor de  $h_{f, \text{terc.admisible}}$ ."

$h_{f, \text{terc.admisible}_1} = (0,1 / x_1) * P_{\text{gotero}_1} - h_{f, \text{lateral.real}_1}$  "----> Será igual a la Perdida de carga admisible en la Subunidad menos la Pérdida de carga real producida en los laterales (CALCULADOS ANTERIORMENTE)."

"Donde:"

$$h_{f, \text{lateral.real}_1} = h_{f, \text{laterales}_1} \text{ {REVISAR COHERENCIA DE LA COMPARACIÓN}}$$

$$\text{"}h_{f, \text{terc.calculado}} \leq h_{f, \text{terc.admisible}}$$

"! (4) Pérdidas de Carga en la tubería Terciaria:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a las tuberías laterales):"

$$h_{f, \text{terc}_1} = h_{f, T_1} * F_{cT_1}$$

"! (4,1) Coeficiente de Christiansen ( $F_c$ ):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

$$F_{cT_1} = (1 / (1 + \beta_{T_1})) + (1 / (2 * N_{\text{laterales}_1})) + ((\beta_{T_1} - 1)^{1/2} / (6 * N_{\text{laterales}_1}^2))$$

"Donde:"

$\beta_{T_1} = 1,75$  {Tubería de PE 40 según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} {VALORES PRÁCTICOS

SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{O,  $\beta$  se puede 'CALCULAR' así:  $\beta = (37530/Re)^{16}$ }

"! (4,2) Pérdidas de carga en la tubería Terciaria ( $h_{f,T}$ ):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:"

$$h_{f, T_1} = (1 / 12,1) * ((f_{\text{terc}_1} * \text{Long}_{\text{terc}_1} * Q_{\text{dot}_{\text{terc}_1}}^2) / (D_{\text{terc}_1}^5)) \text{ {REVISAR UNIDADES: } Q[\text{m}^3/\text{s}], h_f[\text{mca}], D[\text{m}], L[\text{m}]}$$

"Donde:"

$$\{D_{\text{calc}_{\text{terc}_1}} = D_{\text{terc}_1}\}$$

$f_{\text{terc}_1} = \text{MoodyChart}(Re_{\text{terc}_1}; RR_{\text{terc}_1})$  "----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$Re_{\text{terc}_1} = (4 * Q_{\text{dot}_{\text{terc}_1}}) / (\pi * D_{\text{terc}_1} * \nu)$  "----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$Q_{\text{dot}_{\text{terc}_1}} = (N_{\text{laterales}_{1a4_1}} * Q_{\text{dot}_{\text{lateral}_{1a4_1}}}) + (N_{\text{laterales}_{5a6_1}} * Q_{\text{dot}_{\text{lateral}_{5a6_1}}}) + (N_{\text{laterales}_{7_1}} * Q_{\text{dot}_{\text{lateral}_{7_1}}})$  "[m<sup>3</sup>/s] ----> Caudal en la tubería Terciaria."

$v_{\text{terc}_1} = Q_{\text{dot}_{\text{terc}_1}} / ((\pi/4) * D_{\text{terc}_1}^2)$  "[m/s] ----> Velocidad en la terciaria."

$RR_{\text{terc}_1} = \epsilon_{\text{terc}_1} / D_{\text{terc}_1}$  "----> Radio relativo de la Terciaria."

"! (5) Presión en el origen de la tubería Terciaria:"

$$P_{\text{inicial}_T_1} = P_{\text{media}_T_1} + 0,73 * h_{f, \text{terc}_1} + (\text{DELTAZ}_{T_1} / 2)$$

"Donde:"

$P_{\text{media}_T_1} = P_{\text{nom}_T_1}$  "----> Presión media en la terciaria que debe coincidir con la presión nominal."

$P_{\text{nom}_T_1} = P_{\text{inicial}_L_7_1}$  "----> Presión nominal."

$\text{DELTAZ}_{T_1} = - (P_{\text{pendiente}_T_1} * \text{Long}_{\text{terc}_1}) / 100$  "----> Desnivel geométrico entre los extremos de la Terciaria: (+)

Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."

$P_{\text{pendiente}_T_1} = 10$  [%] "----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} {MEDICIÓN}

"! -----> COMPROBACIÓN ADICIONAL: ANÁLISIS DE PRESIONES EN LOS GOTEROS INICIAL Y FINAL"

"Si en nuestra SUBUNIDAD de riego se tiene al inicio una presión  $P_{\text{máx}}$ , a medida que avanza el fluido en el sistema hasta el gotero más alejado la presión disminuirá debido a las pérdidas."

"Estas pérdidas por fricción son producidas tanto en la tuberías laterales como en la terciaria."

"! (1) Relación de presiones en la SUBUNIDAD:"

"Debido a lo mencionado anteriormente, la presión en el último gotero de la SUBUNIDAD, se presenta como:"

$$P_{\text{máx}_1} - P_{\text{mín}_1} = \text{DELTAH}_u_1$$

"Donde:"

{DELTAH\_u = h\_f.laterales + h\_f.terciarias} "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías." { RELACIÓN EXPLICADA ANTERIORMENTE }

P\_máx\_1 = P\_gotero\_1 "----> Presión del gotero más cercano a la válvula de control en la SUBUNIDAD." { Suponiendo la Presión nominal máxima para efectos de seguridad }

"! (2) Criterio hidráulico más significativo:"

"La máxima diferencia permitida de caudal en una unidad de riego por goteo será de un 10% para que la uniformidad de riego se encuentre en valores razonables."

"! (3) Comprobación:"

"Cálculo del Caudal en el gotero más alejado de la válvula en la SUBUNIDAD:"

Q\_min\_1 = K\_1 \* ( P\_min\_1 )^x\_1 "----> Caudal del Gotero más alejado en [L/h]."

"Finalmente, el porcentaje de variación del caudal en la SUBUNIDAD:"

Porc.variac.caudal\_1 = ( 100 - ( ( Q\_min\_1 \* 100 ) / Q\_gotero\_1 ) )

"Se debe cumplir que: Porc.variac.caudal = DELTAH\_u <= DELTAP\_gotero <= ( 0,1 / x ) \* P\_nominal "

!----- SUBUNIDAD 2 -----

"El esquema se muestra en 'Diagram Window (Ctrl+D)'. La distribución de las líneas y la nomenclatura de los mismos."

! -----> PRIMERO: GOTERO"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

\*\* Tipo de gotero: AC - AutoCompensado."

\*\* Referencia: PCJ Dripper"

\*\* Catálogo: Netafim Drippers."

"! (2) Ecuación de descarga de un gotero:"

"Expresión válida para cualquier tipo de gotero:"

Q\_gotero\_2 = K\_2 \* ( P\_gotero\_2 )^x\_2 "----> Caudal del gotero en [L/h]."

Q\_dot\_gotero\_2 = Q\_gotero\_2 \* convert(L/h;m^3/s) "----> Caudal del gotero en [m^3/s]."

"Donde:"

K\_2 = K\_1 "----> Coeficiente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar].} { CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS }

x\_2 = x\_1 "----> Exponente de descarga del gotero." {Valor para gotero PCJ de 4 [L/h] a 1 [bar].} { CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS }

P\_gotero\_2 = 10 [mca] "----> Presión de trabajo en el gotero." {Valor de la Presión nominal en el gotero.} { CATÁLOGO NETAFIM DRIPPERS }

"NOTA: El criterio de diseño hidráulico en una instalación de riego por goteo limita la variación máxima de caudal a un 10% en el lateral y por extensión en la unidad de riego, criterio que se aplica a todo tipo de goteros."

"! (3) Máxima variación de la presión:"

DELTAP\_gotero\_2 = Porcentaje\_perm\_2 \* P\_gotero\_2

Porcentaje\_perm\_2 = 0,1 / x\_2 "----> Porcentaje permisible de la variación de la P\_gotero para no sobrepasar 10% en la variación del caudal."

! -----> SEGUNDO: TUBERÍAS LATERALES"

"Teniendo en cuenta que el área de cultivo cuenta con CATORCE CALLES (Sin contar los dos árboles solos), se determina dividir el cultivo en dos secciones, cada una con SIETE CALLES."

"Como se especifica en el título inicial, este es el código de cálculo para la primera sección: SUBUNIDAD 2."

"A continuación, se asignan subíndices a cada lateral del 1 al 7, teniendo en cuenta que el Diseño Agronómico arrojó un número mínimo de dos emisores por árbol."

"La disposición de los laterales se muestra en el esquema."

"NOTA: Se decide trabajar cada grupo de laterales de forma independiente para realizar variaciones en el diámetro de las mangueras, buscando minizar costos y mejorar el sistema."

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"El número de emisores (goteros):"

N\_goteros\_2 = N\_goteros\_1 "----> Número de goteros por cada árbol presente en la SubUnidad" {Resultado del Diseño

Agronómico.}

$N_{goteros\_1a5\_2} = N_{goteros\_2} * N_{arboles\_1a5\_2}$  "----> Número de goteros en cada lateral del grupo 1 a 5."

$N_{goteros\_6a7\_2} = N_{goteros\_2} * N_{arboles\_6a7\_2}$  "----> Número de goteros en cada lateral del grupo 6 a 7."

"[m] ----> Longitud del lateral." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios equidistantes y primer emisor separado.} { UNIVERSIDAD JAUME I }

"Para cada grupo de laterales:"

$Long\_lateral\_1a5\_2 = (Long\_lateral\_0\_2 - Long\_lateral\_g\_2) + (N\_lat1\_2 * N\_arboles\_1a5\_2 * Long\_lateral\_e\_2) + ((Long\_lateral\_g\_2 - Long\_lateral\_e\_2) * N\_arboles\_1a5\_2) + Long\_lateral\_extra\_2$

$Long\_lateral\_6a7\_2 = (Long\_lateral\_0\_2 - Long\_lateral\_g\_2) + (N\_lat1\_2 * N\_arboles\_6a7\_2 * Long\_lateral\_e\_2) + ((Long\_lateral\_g\_2 - Long\_lateral\_e\_2) * N\_arboles\_6a7\_2) + Long\_lateral\_extra\_2$

"Donde:"

$Long\_lateral\_0\_2 = 0,5$  [m] "----> Distancia desde el inicio del lateral al primer emisor." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

$Long\_lateral\_g\_2 = 4$  [m] "----> Distancia entre grupos de emisores." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

$Long\_lateral\_e\_2 = 1$  [m] "----> Distancia de separación entre emisores." {Valor aplicable a todos los laterales.} { MEDICIÓN }

$Long\_lateral\_extra\_2 = 0,15$  [m] "----> Longitud lateral excedente."

$N\_lat1\_2 = 4$  "[goteros] ----> Número de emisores por grupo." {Valor aplicable a todos los laterales.} { CÁLCULO D. AGRONÓMICO }

AGRONÓMICO }

$N\_arboles\_1a5\_2 = 3$  "----> Número de árboles en los laterales 1 a 5."

$N\_arboles\_6a7\_2 = 4$  "----> Número de árboles en los laterales 6 a 7."

"! (1.1) Material tuberías laterales:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: MANGUERA DE 16mm Y 20mm LAS MÁS USADAS PARA LÍNEAS PORTAGOTEROS EN EL MERCADO."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

$Di\_lateral\_2 = 14e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

$epsilon\_lateral\_2 = 1e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral."

"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

$Di\_lateral\_2 = 17,6e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería lateral."

$epsilon\_lateral\_2 = 1,2e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería lateral."

"! (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

$DELTAH\_u \leq DELTAP\_gotero$

"Es decir:"

$DELTAH\_u \leq (0,1 / x) * P\_nominal$

"Donde:"

{ $DELTAH\_u = h\_f.laterales + h\_f.terciarias$ } "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías." {REVISAR: CÓMO ANALIZAR ESAS PÉRDIDAS}

$DELTAH\_u\_2 = h\_f.laterales\_2 + h\_f.terc\_2$

$h\_f.laterales\_2 = h\_f.lateral\_1\_2 + h\_f.lateral\_2\_2 + h\_f.lateral\_3\_2 + h\_f.lateral\_4\_2 + h\_f.lateral\_5\_2 + h\_f.lateral\_6\_2 +$

$h\_f.lateral\_7\_2$  "----> Pérdidas de carga totales en las laterales de la SUBUNIDAD 1."

"! (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del  $h\_f.lateral$ .calculado con el valor de  $h\_f.lateral$ .admisible."

$h\_f.lateral.admisible\_2 = (0,055 / x\_2) * P\_gotero\_2$  "----> Según criterio económico que busca el coste mínimo de la Instalación, y en el que se estable que: 55% $DELTAH\_u = h\_f.laterales$  y 45% $DELTAH\_u = h\_f.terciarias$ ."

"Se debe cumplir que:"

$h\_f.lateral.calculado \leq h\_f.lateral.admisible$

"! (4) Pérdidas de Carga en el Lateral:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a los goteros):"

"Para cada grupo de laterales:"

$h_{f.lateral\_1\_2} = h_{f.L\_1\_2} * F_{cL\_1a5\_2}$   
 $h_{f.lateral\_2\_2} = h_{f.L\_2\_2} * F_{cL\_1a5\_2}$   
 $h_{f.lateral\_3\_2} = h_{f.L\_3\_2} * F_{cL\_1a5\_2}$   
 $h_{f.lateral\_4\_2} = h_{f.L\_4\_2} * F_{cL\_1a5\_2}$   
 $h_{f.lateral\_5\_2} = h_{f.L\_5\_2} * F_{cL\_1a5\_2}$   
 $h_{f.lateral\_6\_2} = h_{f.L\_6\_2} * F_{cL\_6a7\_2}$   
 $h_{f.lateral\_7\_2} = h_{f.L\_7\_2} * F_{cL\_6a7\_2}$

"! (4,1) Coeficiente de Christiansen (F\_c):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

"Para cada grupo de laterales:"

$F_{cL\_1a5\_2} = (1 / (1 + \beta_{L\_2})) + (1 / (2 * N_{goteros\_1a5\_2})) + ((\beta_{L\_2} - 1)^{1/2} / (6 * N_{goteros\_1a5\_2}^2))$

$F_{cL\_6a7\_2} = (1 / (1 + \beta_{L\_2})) + (1 / (2 * N_{goteros\_6a7\_2})) + ((\beta_{L\_2} - 1)^{1/2} / (6 * N_{goteros\_6a7\_2}^2))$

"Donde:"

$\beta_{L\_2} = 1,75$  {Tubería de PE 100% según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} {VALORES PRÁCTICOS

SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{O, Beta se puede 'CALCULAR' así:  $\beta = (37530/Re)^{16}$ }

"! (4,2) Pérdidas de carga en el Lateral (h\_f.L):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:" {REVISAR UNIDADES: Q [m^3/s], h\_f [mca], D[m], L[m].}

"Para cada grupo de laterales:"

$h_{f.L\_1\_2} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_1\_2} * Long_{lateral\_1a5\_2} * Q_{dot\_lateral1a5\_2}^2) / (D_{calc\_lateral\_1\_2}^5))$

$h_{f.L\_2\_2} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_2\_2} * Long_{lateral\_1a5\_2} * Q_{dot\_lateral1a5\_2}^2) / (D_{calc\_lateral\_2\_2}^5))$

$h_{f.L\_3\_2} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_3\_2} * Long_{lateral\_1a5\_2} * Q_{dot\_lateral1a5\_2}^2) / (D_{calc\_lateral\_3\_2}^5))$

$h_{f.L\_4\_2} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_4\_2} * Long_{lateral\_1a5\_2} * Q_{dot\_lateral1a5\_2}^2) / (D_{calc\_lateral\_4\_2}^5))$

$h_{f.L\_5\_2} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_5\_2} * Long_{lateral\_1a5\_2} * Q_{dot\_lateral1a5\_2}^2) / (D_{calc\_lateral\_5\_2}^5))$

$h_{f.L\_6\_2} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_6\_2} * Long_{lateral\_6a7\_2} * Q_{dot\_lateral6a7\_2}^2) / (D_{calc\_lateral\_6\_2}^5))$

$h_{f.L\_7\_2} = (1 / 12,1) * ((f_{lateral\_7\_2} * Long_{lateral\_6a7\_2} * Q_{dot\_lateral6a7\_2}^2) / (D_{calc\_lateral\_7\_2}^5))$

"Donde:"

"----> Diámetro interno de cada grupo de laterales."

"Seleccionar los valores de diámetro deseados para cada grupo de laterales teniendo en cuenta las opciones del catálogo:"

$D_{calc\_lateral\_1\_2} = D_{i\_lateral\_2}$

$D_{calc\_lateral\_2\_2} = D_{i\_lateral\_2}$

$D_{calc\_lateral\_3\_2} = D_{i\_lateral\_2}$

$D_{calc\_lateral\_4\_2} = D_{i\_lateral\_2}$

$D_{calc\_lateral\_5\_2} = D_{i\_lateral\_2}$

$D_{calc\_lateral\_6\_2} = D_{i\_lateral\_2}$

$D_{calc\_lateral\_7\_2} = D_{i\_lateral\_2}$

"----> Espesor de la pared de cada grupo de laterales."

"Ingresar los valores de espesor de la pared de la tubería de cada grupo de laterales según el modelo seleccionado:"

$\epsilon_{lateral\_1\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$

$\epsilon_{lateral\_2\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$

$\epsilon_{lateral\_3\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$

$\epsilon_{lateral\_4\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$

$\epsilon_{lateral\_5\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$

$\epsilon_{lateral\_6\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$

$\epsilon_{lateral\_7\_2} = \epsilon_{lateral\_2}$

"----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$f_{lateral\_1\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_1\_2}; RR_{lateral\_1\_2})$

$f_{lateral\_2\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_2\_2}; RR_{lateral\_2\_2})$

$f_{lateral\_3\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_3\_2}; RR_{lateral\_3\_2})$

$f_{lateral\_4\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_4\_2}; RR_{lateral\_4\_2})$

$f_{lateral\_5\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_5\_2}; RR_{lateral\_5\_2})$

$f_{lateral\_6\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_6\_2}; RR_{lateral\_6\_2})$

$f_{lateral\_7\_2} = \text{MoodyChart}(Re_{lateral\_7\_2}; RR_{lateral\_7\_2})$

"----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$Re_{lateral\_1\_2} = (4 * Q_{dot\_lateral1a5\_2}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_1\_2} * \nu)$

$Re_{lateral\_2\_2} = (4 * Q_{dot\_lateral1a5\_2}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_2\_2} * \nu)$

$Re_{lateral\_3\_2} = (4 * Q_{dot\_lateral1a5\_2}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_3\_2} * \nu)$

$Re_{lateral\_4\_2} = (4 * Q_{dot\_lateral1a5\_2}) / (\pi * D_{calc\_lateral\_4\_2} * \nu)$

$Re_{lateral\_5\_2} = (4 * Q\_dot\_lateral1a5\_2) / (\pi * Dcalc\_lateral\_5\_2 * \nu)$   
 $Re_{lateral\_6\_2} = (4 * Q\_dot\_lateral6a7\_2) / (\pi * Dcalc\_lateral\_6\_2 * \nu)$   
 $Re_{lateral\_7\_2} = (4 * Q\_dot\_lateral6a7\_2) / (\pi * Dcalc\_lateral\_7\_2 * \nu)$   
 "----> Caudal en el Lateral."  
 $Q\_dot\_lateral1a5\_2 = N\_goteros\_1a5\_2 * Q\_dot\_gotero\_2$  "[m^3/s]"  
 $Q\_dot\_lateral6a7\_2 = N\_goteros\_6a7\_2 * Q\_dot\_gotero\_2$  "[m^3/s]"  
 $\{\nu = \mu / \rho$  "[m^2/s]" ----> Viscosidad cinemática del agua."  
 $\mu = \text{Viscosity}(\text{Water}; T=T\_ref; P=P\_ref)$  "[kg/m.s]" ----> Viscosidad dinámica del agua."  
 $\rho = \text{Density}(\text{Water}; T=T\_ref; P=P\_ref)$  "[kg/m^3]" ----> Densidad del agua."  
 $T\_ref = 25$  [°C] "----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander."  
 $P\_ref = 101,12$  [kPa] "----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander."  
 "----> Radio relativo del Lateral."  
 $RR_{lateral\_1\_2} = \epsilon_{lateral\_1\_2} / Dcalc\_lateral\_1\_2$   
 $RR_{lateral\_2\_2} = \epsilon_{lateral\_2\_2} / Dcalc\_lateral\_2\_2$   
 $RR_{lateral\_3\_2} = \epsilon_{lateral\_3\_2} / Dcalc\_lateral\_3\_2$   
 $RR_{lateral\_4\_2} = \epsilon_{lateral\_4\_2} / Dcalc\_lateral\_4\_2$   
 $RR_{lateral\_5\_2} = \epsilon_{lateral\_5\_2} / Dcalc\_lateral\_5\_2$   
 $RR_{lateral\_6\_2} = \epsilon_{lateral\_6\_2} / Dcalc\_lateral\_6\_2$   
 $RR_{lateral\_7\_2} = \epsilon_{lateral\_7\_2} / Dcalc\_lateral\_7\_2$

**"! (5) Presión en el origen del Lateral:"**  
 "Para cada grupo de laterales:"  
 $P_{inicial\_L\_1\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f.lateral\_1\_2} + (DELTAZ_{L1a5\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_L\_2\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f.lateral\_2\_2} + (DELTAZ_{L1a5\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_L\_3\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f.lateral\_3\_2} + (DELTAZ_{L1a5\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_L\_4\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f.lateral\_4\_2} + (DELTAZ_{L1a5\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_L\_5\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f.lateral\_5\_2} + (DELTAZ_{L1a5\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_L\_6\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f.lateral\_6\_2} + (DELTAZ_{L6a7\_2} / 2)$   
 $P_{inicial\_L\_7\_2} = P_{media\_L\_2} + 0,73 * h_{f.lateral\_7\_2} + (DELTAZ_{L6a7\_2} / 2)$   
 "Donde:"  
 $P_{media\_L\_2} = P_{nom\_L\_2}$  "----> Presión media en el lateral que debe coincidir con la presión nominal."  
 $P_{nom\_L\_2} = P_{gotero\_2}$  "----> Presión nominal o presión a la que el gotero emite el caudal nominal durante el funcionamiento."  
 "----> Desnivel geométrico entre los extremos del lateral: (+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."  
 $DELTAZ_{L1a5\_2} = - (Pendiente\_2 * Long_{lateral\_1a5\_2}) / 100$   
 $DELTAZ_{L6a7\_2} = - (Pendiente\_2 * Long_{lateral\_6a7\_2}) / 100$   
 $Pendiente\_2 = 30$  [%] "----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} { MEDICIÓN }

---

**"! -----> TERCERO: TUBERÍAS TERCIARIAS"**  
**"! (1) Consideraciones iniciales:"**  
 "Número de laterales:"  
 $N_{laterales\_2} = N_{laterales\_1a5\_2} + N_{laterales\_6a7\_2}$  "----> Número total de laterales."  
 $N_{laterales\_1a5\_2} = 5$  "----> Número de laterales del 1 al 5."  
 $N_{laterales\_6a7\_2} = 2$  "----> Número de laterales del 6 al 7."

"----> Longitud de la tubería terciaria." {Expresión para pérdidas de carga en tuberías con consumos intermedios agrupados.}  
 { UNIVERSIDAD JAUME I }  
 $Long_{terc\_2} = Long_{terc\_0\_2} + ((N_{laterales\_2} - 1) * Dist_{lat\_2}) + Long_{terc\_extra\_2}$  "[m]"  
 "Donde:"  
 $Long_{terc\_0\_2} = 0,5$  [m] "----> Distancia desde el inicio de la tubería terciaria al primer lateral." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }  
 $Dist_{lat\_2} = 6$  [m] "----> Distancia entre laterales." {Valor aplicable a la tubería terciaria del primer grupo.} { MEDICIÓN }  
 $Long_{terc\_extra\_2} = 0,2$  [m] "----> Longitud excedente final en la tubería terciaria."

**"! (1.1) Material tuberías terciarias:"**  
 "\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."  
 "\*\* Consideraciones: TIE COILS."  
 "\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."  
 "\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }  
 {"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"  
 $Di_{terc\_2} = 14e-3$  [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."  
 $\epsilon_{terc\_2} = 1e-3$  [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

{ "OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_terc\_2 = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_2 = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

Di\_terc\_2 = 22e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_2 = 1,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria."

{ "OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_terc\_2 = 29,4e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_2 = 1,3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{ "OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_terc\_2 = 27,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_2 = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{ "OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_terc\_2 = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_2 = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{ "OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_terc\_2 = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_2 = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{ "OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_terc\_2 = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_2 = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

{ "OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"

Di\_terc\_2 = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería terciaria."

epsilon\_terc\_2 = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería terciaria." }

"! (2) Criterio hidráulico en la Unidad de Riego:"

"Se debe cumplir que:"

" $\Delta H_u \leq (0,1 / x) * P_{nominal}$ "

"! (3) Cálculo del diámetro:"

"Procedimiento iterativo:"

"1) Seleccionar una tubería entre las posibles opciones."

"2) Cálculo de las pérdidas de carga con el valor del diámetro de la tubería seleccionada."

"3) Comparación del valor del  $h_{f,terc. calculado}$ , con el valor de  $h_{f,terc. admisible}$ ."

$h_{f,terc.admisible\_2} = (0,1 / x\_2) * P_{gotero\_2} - h_{f.lateral.real\_2}$  "----> Será igual a la Pérdida de carga admisible en la Subunidad menos la Pérdida de carga real producida en los laterales (CALCULADOS ANTERIORMENTE)."

"Donde:"

$h_{f.lateral.real\_2} = h_{f.laterales\_2}$  {REVISAR COHERENCIA DE LA COMPARACIÓN}

" $h_{f,terc.calculado} \leq h_{f,terc.admisible}$ "

"! (4) Pérdidas de Carga en la tubería Terciaria:"

"Teniendo en cuenta las múltiples salidas (debido a las tuberías laterales):"

$h_{f,terc\_2} = h_{f,T\_2} * F_{cT\_2}$

"! (4,1) Coeficiente de Christiansen ( $F_c$ ):"

"Factor para considerar múltiples derivaciones/salidas."

$F_{cT\_2} = (1 / (1 + \beta_{T\_2})) + (1 / (2 * N_{laterales\_2})) + ((\beta_{T\_2} - 1)^{1/2} / (6 * N_{laterales\_2}^2))$

"Donde:"

$\beta_{T\_2} = 1,75$  {Tubería de PE 40 según especificaciones de catálogo NETAFIM PIPES.} {VALORES PRÁCTICOS SUGERIDOS U.SEVILLA: 1,75[T.PE], 1,80[T.PVC], 1,85-1,90[T.Aluminio]}

{0, Beta se puede 'CALCULAR' así:  $\beta = (37530/Re)^{16}$ }

"! (4,2) Pérdidas de carga en la tubería Terciaria (h<sub>f.T</sub>):"  
 "A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que:"  

$$h_{f.T_2} = (1/12,1) * ((f_{terc_2} * Long_{terc_2} * Q_{dot_{terc_2}}^2) / (D_{i_{terc_2}}^5))$$
 {REVISAR UNIDADES: Q[m<sup>3</sup>/s], h<sub>f</sub>[mca], D[m], L[m].}  
 "Donde:"  

$$D_{calc_{terc_2}} = D_{i_{terc_2}}$$
  

$$f_{terc_2} = \text{MoodyChart}(Re_{terc_2}; RR_{terc_2})$$
 "----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."  

$$Re_{terc_2} = (4 * Q_{dot_{terc_2}}) / (\pi * D_{i_{terc_2}} * \nu)$$
 "----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."  

$$Q_{dot_{terc_2}} = (N_{laterales_{1a5_2}} * Q_{dot_{lateral1a5_2}}) + (N_{laterales_{6a7_2}} * Q_{dot_{lateral6a7_2}})$$
 "[m<sup>3</sup>/s] ----> Caudal en la tubería Terciaria."  

$$v_{terc_2} = Q_{dot_{terc_2}} / ((\pi/4) * D_{i_{terc_2}}^2)$$
 "[m/s] ----> Velocidad en la terciaria."  

$$RR_{terc_2} = \epsilon_{terc_2} / D_{i_{terc_2}}$$
 "----> Radio relativo de la Terciaria."

"! (5) Presión en el origen de la tubería Terciaria:"  

$$P_{inicial_T_2} = P_{media_T_2} + 0,73 * h_{f.terc_2} + (\Delta Z_{T_2} / 2)$$
  
 "Donde:"  

$$P_{media_T_2} = P_{nom_T_2}$$
 "----> Presión media en la terciaria que debe coincidir con la presión nominal."  

$$P_{nom_T_2} = P_{inicial_L_1_2}$$
 "----> Presión nominal."  

$$\Delta Z_{T_2} = 0$$
 [m] "----> Desnivel geométrico entre los extremos de la Terciaria: (+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente."

"! -----> COMPROBACIÓN ADICIONAL: ANÁLISIS DE PRESIONES EN LOS GOTEROS INICIAL Y FINAL"  
 "Si en nuestra SUBUNIDAD de riego se tiene al inicio una presión P<sub>máx</sub>, a medida que avanza el fluido en el sistema hasta el gotero más alejado la presión disminuirá debido a las pérdidas."  
 "Estas pérdidas por fricción son producidas tanto en la tuberías laterales como en la terciaria."

"! (1) Relación de presiones en la SUBUNIDAD:"  
 "Debido a lo mencionado anteriormente, la presión en el último gotero de la SUBUNIDAD, se presenta como:"  

$$P_{máx_2} - P_{min_2} = \Delta H_{u_2}$$
  
 "Donde:"  

$$\Delta H_{u_2} = h_{f.laterales} + h_{f.terciarias}$$
 "----> Suma de pérdidas de presión por rozamiento del agua en el interior de las tuberías." { RELACIÓN EXPLICADA ANTERIORMENTE }  

$$P_{máx_2} = P_{gotero_2}$$
 "----> Presión del gotero más cercano a la válvula de control en la SUBUNIDAD." { Suponiendo la Presión nominal máxima para efectos de seguridad }

"! (2) Criterio hidráulico más significativo:"  
 "La máxima diferencia permitida de caudal en una unidad de riego por goteo será de un 10% para que la uniformidad de riego se encuentre en valores razonables."

"! (3) Comprobación:"  
 "Cálculo del Caudal en el gotero más alejado de la válvula en la SUBUNIDAD:"  

$$Q_{min_2} = K_2 * (P_{min_2})^x_2$$
 "----> Caudal del Gotero más alejado en [L/h]."

"Finalmente, el porcentaje de variación del caudal en la SUBUNIDAD:"  

$$Porc.variac.caudal_2 = (100 - ((Q_{min_2} * 100) / Q_{gotero_2}))$$
  
 "Se debe cumplir que:  $Porc.variac.caudal = \Delta H_{u_2} \leq \Delta H_{gotero} \leq (0,1 / x) * P_{nominal}$ "

"!----- SUBUNIDAD 1 Y SUBUNIDAD 2 -----"

"Asegurar el correcto funcionamiento de la instalación requiere realizar los cálculos correspondiente durante la SITUACIÓN CRÍTICA DE OPERACIÓN."

"Esta condición crítica se refiere al momento en el que AMBAS Subunidades se encuentran en funcionamiento."  
 "El esquema se muestra en 'Diagram Window (Ctrl+D)'. La distribución de las tuberías secundarias y primaria, así como de los laterales y la nomenclatura de los mismos."

"! -----> CUARTO: TUBERÍAS SECUNDARIAS"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"\* Como se muestra en 'Diagram Window' (Ctrl+D) se planea alimentar la tubería secundaria desde un punto intermedio."  
 "\* La tubería secundaria debe llegar a las cajas con llaves de paso presentes en el cultivo."

"! (1,1) Proceso de cálculo:" { UNIVERSIDAD JAUME I }

"! (1,2) Longitud de la tubería secundaria:"

Long\_sec = Long\_sec1 + Long\_sec2 "[m] ----> Longitud de la tubería secundaria."

"Donde:"

Long\_sec1 = 1 [m] "-----> Longitud del tramo de tubería secundaria que alimenta a la Subunidad 1."

Long\_sec2 = 43 [m] "-----> Longitud del tramo de tubería secundaria que alimenta a la Subunidad 2."

"NOTA: Se calculará todo para un sólo tramo, y en las ecuaciones que sea necesario, se tendrán en cuenta los dos."

"! (1.3) Material tuberías secundarias:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }

{"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_sec = 14e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_sec = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

Di\_sec = 22e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_sec = 29,4e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1,3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_sec = 27,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_sec = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_sec = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_sec = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"

Di\_sec = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 10: MODELO 50/5 - Ø2" (50mm)"

Di\_sec = 45,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 11: MODELO 63/4 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_sec = 58e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 2,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

{"OPCIÓN 12: MODELO 63/6 - Ø2-1/2" (63mm)"

Di\_sec = 57e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería secundaria."

epsilon\_sec = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería secundaria."}

"! (2) Límite para la velocidad de circulación del agua:"

"Generalmente, se establece una velocidad máxima del fluido de 3 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad."  
"Sin embargo, como en el sistema de distribución se trabaja con presiones controladas (como si se tratase de una bomba), se recomienda un rango de velocidades de 0,3 a 2,5 [m/s]."

"Entonces, se debe cumplir que:"

$$V_{\text{min.adm}} \leq V_{\text{sec1}} \leq V_{\text{máx.adm}}$$

$$V_{\text{min.adm}} \leq V_{\text{sec2}} \leq V_{\text{máx.adm}}$$

"Donde:"

"Donde:"

$$V_{\text{sec1}} = Q_{\text{dot\_sec1}} / ((\pi/4) * D_{\text{calc\_sec1}}^2) \text{ [m/s] } \text{-----> Velocidad del agua en el TRAMO 1 de la tubería secundaria.}$$

$$V_{\text{sec2}} = Q_{\text{dot\_sec2}} / ((\pi/4) * D_{\text{calc\_sec1}}^2) \text{ [m/s] } \text{-----> Velocidad del agua en el TRAMO 2 de la tubería secundaria.}$$

$$V_{\text{sec.min.adm}} = 0,3 \text{ [m/s] } \text{-----> Velocidad mínima admisible del agua en la tubería secundaria.} \text{ {Valor para impedir la deposición en la tubería de cualquier tipo de partícula o impureza.} } \text{ {FAO} }$$

$$V_{\text{sec.máx.adm}} = 2,5 \text{ [m/s] } \text{-----> Velocidad máxima admisible del agua en la tubería secundaria.} \text{ {Valor que pretende contribuir a evitar los fenómenos de golpe de ariete y cavitación.} } \text{ {FAO} }$$

"Si esta condición no se cumple, se debe SELECCIONAR OTRO DIÁMETRO DE TUBERÍA."

"! (3) Pérdidas de carga en la tubería secundaria (h\_f.sec):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que las pérdidas de carga en el TRAMO 1 y TRAMO 2 de la tubería secundaria es:"

$$h_{f.\text{sec1}} = (1 / 12,1) * ((f_{\text{sec1}} * \text{Long\_sec1} * Q_{\text{dot\_sec1}}^2) / (D_{\text{calc\_sec1}}^5)) \text{ {REVISAR UNIDADES: Q[m^3/s], h [mca], D[m], L[m]}}$$

$$h_{f.\text{sec2}} = (1 / 12,1) * ((f_{\text{sec2}} * \text{Long\_sec2} * Q_{\text{dot\_sec2}}^2) / (D_{\text{calc\_sec1}}^5))$$

$$h_{f.\text{sec}} = h_{f.\text{sec2}} \text{-----> Pérdidas mayores en la tubería secundaria.}$$

"Donde:"

$$D_{\text{calc\_sec1}} = D_{i.\text{sec}}$$

$$\epsilon_{\text{sec1}} = \epsilon_{\text{sec}}$$

"-----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$$f_{\text{sec1}} = \text{MoodyChart}(Re_{\text{sec1}}; RR_{\text{sec1}})$$

$$f_{\text{sec2}} = \text{MoodyChart}(Re_{\text{sec2}}; RR_{\text{sec1}})$$

"-----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$$Re_{\text{sec1}} = (4 * Q_{\text{dot\_sec1}}) / (\pi * D_{\text{calc\_sec1}} * \nu)$$

$$Re_{\text{sec2}} = (4 * Q_{\text{dot\_sec2}}) / (\pi * D_{\text{calc\_sec1}} * \nu)$$

$$RR_{\text{sec1}} = \epsilon_{\text{sec1}} / D_{\text{calc\_sec1}} \text{-----> Rugosidad relativa del TRAMO 1 de la tubería secundaria.}$$

$$\{\nu = \mu / \rho \text{ [m}^2\text{/s] } \text{-----> Viscosidad cinemática del agua.}$$

$$\mu = \text{Viscosity}(\text{Water}; T=T_{\text{ref}}; P=P_{\text{ref}}) \text{ [kg/m.s] } \text{-----> Viscosidad dinámica del agua.}$$

$$\rho = \text{Density}(\text{Water}; T=T_{\text{ref}}; P=P_{\text{ref}}) \text{ [kg/m}^3\text{] } \text{-----> Densidad del agua.}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ [}^\circ\text{C] } \text{-----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander.}$$

$$P_{\text{ref}} = 101,12 \text{ [kPa] } \text{-----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander.}$$

$$Q_{\text{dot\_sec1}} = Q_{\text{dot\_terc\_1}} \text{ [m}^3\text{/s] } \text{-----> Caudal en el TRAMO 1 de la tubería secundaria.}$$

$$Q_{\text{dot\_sec2}} = Q_{\text{dot\_terc\_2}} \text{ [m}^3\text{/s] } \text{-----> Caudal en el TRAMO 1 de la tubería secundaria.}$$

$$Q_{\text{dot\_sec}} = Q_{\text{dot\_sec1}} + Q_{\text{dot\_sec2}} \text{ [m}^3\text{/s] } \text{-----> Caudal en la tubería secundaria.}$$

"! (4) Presión en el origen de la tubería secundaria:"

"Debido a que la tubería se alimenta desde un punto intermedio, y que se debe asegurar que funcione para la CONDICIÓN

CRÍTICA: Las DOS Subunidades en operación, se tiene que:"

$$P_{\text{inicial\_sec1}} = P_{\text{inicial\_T\_1}} + (h_{f.\text{sec1}}) + (\text{DELTAZ}_{\text{sec}} / 2)$$

$$P_{\text{inicial\_sec2}} = P_{\text{inicial\_T\_2}} + (h_{f.\text{sec2}}) + (\text{DELTAZ}_{\text{sec}} / 2)$$

$$P_{\text{inicial\_sec}} = P_{\text{inicial\_sec2}}$$

"Donde:"

$$X = P_{\text{inicial\_T\_2}}$$

$$Y = P_{\text{inicial\_T\_1}}$$

$$Z = P_{\text{inicial\_T\_1}}$$

$P_{\text{inicial.mayor\_terc}} = \text{if}(P_{\text{inicial\_T\_1}}; P_{\text{inicial\_T\_2}}; X; Y; Z) \text{-----> Presión inicial MAYOR entre la P.inicial de la terciaria de la SU1 y la P.inicial de la terciaria de la SU2.}$  {Así se asegura que el sistema funcione correctamente para el caso donde la

subunidad con mayor presión inicial en la tubería terciaria esté operando. También si se opera sólo la subunidad con presión inicial en la terciaria menor, con la válvula de control de presión al origen de ésta, se puede regular el exceso de presión.} {

TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE }

$\text{DELTAZ}_{\text{sec}} = 0 \text{ [m] } \text{-----> Desnivel geométrico entre los extremos de la Secundaria: (+) Desnivel ascendente y (-) Desnivel descendente.}$

"! -----> QUINTO: TUBERÍA PRIMARIA"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

\*\* En el sistema sólo se requiere una tubería primaria que alimente en el intermedio a la tubería secundaria."

"! (1,1) Longitud de la tubería primaria:"

Long\_prim = 4 [m] "----> Longitud de la tubería secundaria." {Valor determinado a partir de estimaciones con el propietario.} {  
MEDICIÓN }

"! (1,2) Material tubería primaria:"

\*\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."

\*\* Consideraciones: TIE COILS."

\*\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."

\*\* Información técnica:"

{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES}

{"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"

Di\_prim = 14e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"

Di\_prim = 17,6e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

"OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"

Di\_prim = 22e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,5e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."

{"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_prim = 29,4e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_prim = 27,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_prim = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_prim = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_prim = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería primaria."

epsilon\_prim = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería primaria."}

"! (2) Límite para la velocidad de circulación del agua:"

"Generalmente, se establece una velocidad máxima del fluido de 3 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad."

"Sin embargo, como en el sistema de distribución se trabaja con presiones controladas (como si se tratase de una bomba), se recomienda un rango de velocidades de 0,3 a 2,5 [m/s]."

"Entonces, se debe cumplir que:"

"V\_min.adm <= V\_prim <= V\_máx.adm"

"Donde:"

$V_{prim} = Q_{dot\_prim} / ((\pi/4) * D_{calc\_prim}^2)$  "[m/s] ----> Velocidad del agua en la tubería primaria."

$V_{prim.min.adm} = 0,3$  [m/s] "----> Velocidad mínima admisible del agua en la tubería primaria." {Valor para impedir la deposición en la tubería de cualquier tipo de partícula o impureza.} { FAO }

$V_{prim.máx.adm} = 2,5$  [m/s] "----> Velocidad máxima admisible del agua en la tubería primaria." {Valor que pretende contribuir a evitar los fenómenos de golpe de ariete y cavitación.} { FAO }

"Si esta condición no se cumple, se debe SELECCIONAR OTRO DIÁMETRO DE TUBERÍA."

"! (3) Pérdidas de carga en la tubería primaria (h<sub>f,prim</sub>):"

"A partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach, se tiene que las pérdidas de carga en la tubería primaria son:"

$$h_{f,prim} = (1 / 12,1) * ((f_{prim} * Long_{prim} * Q_{dot,prim}^2) / (D_{calc,prim}^5))$$
 {REVISAR UNIDADES: Q[m<sup>3</sup>/s], h<sub>f</sub>[mca], D[m], L[m].}

"Donde:"

$D_{calc,prim} = D_{i,prim}$

$f_{prim} = \text{MoodyChart}(Re_{prim}; RR_{prim})$  "----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

$Re_{prim} = (4 * Q_{dot,prim}) / (\pi * D_{calc,prim} * \nu)$  "----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

$RR_{prim} = \epsilon_{prim} / D_{calc,prim}$  "----> Rugosidad relativa de la tubería primaria"

$\nu = \mu / \rho$  [m<sup>2</sup>/s] "----> Viscosidad cinemática del agua."

$\mu = \text{Viscosity}(\text{Water}; T=T_{ref}; P=P_{ref})$  [kg/m.s] "----> Viscosidad dinámica del agua."

$\rho = \text{Density}(\text{Water}; T=T_{ref}; P=P_{ref})$  [kg/m<sup>3</sup>] "----> Densidad del agua."

$T_{ref} = 25$  [°C] "----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

$P_{ref} = 101,12$  [kPa] "----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander."}

$Q_{dot,prim} = Q_{dot,sec}$  [m<sup>3</sup>/s] "----> Caudal en la tubería primaria."

"! (4) Presión en el origen de la tubería primaria:"

"Para la CONDICIÓN CRÍTICA: Las DOS Subunidades en operación, se tiene que:"

$P_{inicial\_prim} = P_{inicial\_sec} + h_{f,prim} + (DELTAZ_{prim} / 2)$

"Donde:"

"----> Desnivel geométrico entre los extremos de la Primaria: (+) Densivel ascendente y (-) Densivel descendente."

$DELTAZ_{prim} = -(Pendiente_{prim} * Long_{prim}) / 100$

$Pendiente_{prim} = 10$  [%] "----> Pendiente del terreno." {Valor aproximado en campo.} {MEDICIÓN}

"! -----> SEXTO: CABEZAL DE RIEGO"

"! (1) Consideraciones iniciales:"

"El sistema de riego va a contar con un cabezal de riego sin grupo de bombeo."

"! (1,1) Elementos en el cabezal de riego:"

"Los elementos que conforman el cabezal de riego por goteo en este sistema son:"

\*\* Unidad de filtrado: Filtros de anillos manuales."

\*\* Válvulas: 1. Válvulas manuales para el cierre de líneas y 2. Válvulas de control de presión."

"! (2) Pérdidas de carga en el cabezal de riego:"

"A las pérdidas de carga producidas en las tuberías hay que añadir las pérdidas ocasionadas en las piezas especiales (si no se han incluido en el cálculo de las pérdidas en tuberías) y en los componentes del cabezal."

"Entonces, las pérdidas de carga en el cabezal están definidas como:"

$h_{f,cabezal} = DELTAh_{f,comp,cabezal} + DELTAh_{accesorios}$  [mca] "----> Pérdidas de carga en el cabezal." {Valor que debe incluir las pérdidas por accesorios en todo el sistema.} {TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE}

"! (2,1) Pérdidas de carga de los componentes del cabezal:"

"Los fabricantes de los elementos deben proveer los valores correspondientes; sin embargo, esto casi nunca sucede."

"Debido a esto, los siguientes son valores aproximados para ser usados en el diseño:"

$h_{f,filtoanillas} = 2$  [mca] "----> Pérdidas de carga en el filtro de anillos manual." {Se toma el valor promedio en el rango para asegurar el diseño.} {TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE}

$h_{f,regpres} = 5$  [mca] "----> Pérdidas de carga en la reguladora de presión." {Se toma el valor promedio en el rango para asegurar el diseño.} {TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE}

$h_{f,valg} = 2$  [mca] "----> Pérdidas de carga en la válvula de control de caudal." {Se toma el valor promedio en el rango para asegurar el diseño.} {TÉCNICAS DE RIEGO - FUENTES YAGÜE}

"Finalmente, se tiene que:"

$DELTAh_{f,comp,cabezal} = h_{f,filtoanillas} + (h_{f,regpres}) + (h_{f,valg})$  "----> Pérdidas de carga totales de los componentes del cabezal de riego."

"Nota: Se pretende usar:"

"(UNA) Válvula manual de PVC: Una al inicio del cabezal."

"(UNA) Válvula hidráulica para controlar la presión de salida en el cabezal de riego."

"! (2,1) Pérdidas de carga por accesorios del sistema (DELTAh<sub>accesorios</sub>):"

"Como no se han tenido en cuenta, debido al carácter despreciable que poseen, se deben revisar por seguridad:"

$DELTAh_{accesorios} = h_{acces.lat} + h_{acces.terc} + h_{acces.sec}$  "----> Suma de las pérdidas de carga por accesorios en las DOS Subunidades."

"Más específicamente:" {REVISAR UNIDADES: Q[m<sup>3</sup>/s], h[mca], D[m].}  
{Teniendo en cuenta que la velocidad es la que entra a la tubería a través del accesorio.}  
 $h_{\text{acces.lat}} = K_{\text{lat}} * (V_{\text{terc}_1}^2 / (2 * g))$  "[mca] ----- Pérdidas de carga localizadas en accesorios de la tubería lateral."  
"Donde:"  
 $A = V_{\text{terc}_2}$   
 $B = V_{\text{terc}_1}$   
 $C = V_{\text{terc}_1}$   
 $V_{\text{terc}} = \text{if}(V_{\text{terc}_1}; V_{\text{terc}_2}; A; B; C)$

$h_{\text{acces.terc}} = K_{\text{terc}} * (V_{\text{sec1}}^2 / (2 * g))$  "[mca] ----- Pérdidas de carga localizadas en accesorios de la tubería terciaria."  
 $h_{\text{acces.sec}} = K_{\text{sec}} * (V_{\text{prim}}^2 / (2 * g))$  "[mca] ----- Pérdidas de carga localizadas en accesorios de la tubería secundaria."  
"Donde los valores específicos para ACCESORIOS EN POLIETILENO (PE):"  
 $K_{\text{lat}} = 14 * (0,3)$  "-----> Coef. de resistencia." {Valor de K para las 14 UNIONES de cada lateral a la línea terciaria que conforman las dos SubUnidades.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }  
 $K_{\text{terc}} = 2 * (10)$  "-----> Coef. de resistencia." {Valor de K para las 2 válvulas de macho al inicio de cada terciaria.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }  
 $K_{\text{sec}} = 1 * (1,8)$  "-----> Coef. de resistencia." {Valor de K para la conexión en T de la tubería primaria a las secundaria.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }  
"Siendo:"  
 $g = 9,73$  [m/s<sup>2</sup>] "-----> Aceleración de la gravedad en Colombia."

"! (3) Presión en el origen del Cabezal:"  
"Esta será la presión de servicio para alimentar correctamente todo el sistema de riego y asegurar su funcionamiento."  
"Con este valor, se inicia el cálculo del Sistema de Transporte."  
 $\text{P inicial\_cabezal} = \text{P inicial\_prim} + h_{\text{f.cabezal}}$  "[mca] -----> Presión de servicio."

"!----- FASE DOS: SISTEMA DE TRANSPORTE -----"  
"Una vez realizados los cálculos del (1) Sistemas de distribución, se inicia el diseño del (2) Sistema de transporte."

"! -----> PRIMERO: TUBERÍA DE TRANSPORTE"  
"! (1) Consideraciones iniciales:"  
"\* Como se muestra en 'Diagram Window' el punto (1) corresponde a la superficie del agua en el tanque; y, el punto (2) a la entrada del cabezal."  
"\* Las características topográficas del sistema son adecuadas para la conducción por gravedad."  
"\* Se decide trabajar con dos válvulas al inicio y final del recorrido, para controlar la distribución inicial y la presión al final del sistema de transporte."

"! (1,1) Cotas geométricas (altimétricas):"  
"A partir del levantamiento topográfico de la finca Villa María:"  
 $\{z_1 = 30$  [m] "-----> Cota geométrica del Punto (1)" {Valor correspondiente a la altura del tanque.}  
 $z_2 = 0$  [m] "-----> Cota geométrica del Punto (2)" {Valor correspondiente a la altura del cabezal de riego.}

"!(1,2) Longitud de la tubería de transporte:"  
 $\text{Long\_trans} = 100$  [m] {Longitud real de la tubería necesaria del punto (1) al punto (2).} { MEDICIÓN }

"! (1,3) Material tubería de transporte:"  
"\* Tipo de tubería: NETAFIM STANDARD IRRIGATION PE PIPES."  
"\* Consideraciones: TIE COILS."  
"\* Referencia técnica: DEPENDE DEL MODELO Y LONGITUD SELECCIONADA."  
"\* Información técnica:"  
{ CATÁLOGO NETAFIM PIPES - STANDARD IRRIGATION PE PIPES }  
{"OPCIÓN 1: MODELO 16/4 - Ø5/8" (16mm)"  
 $\text{Di\_trans} = 14e-3$  [m] "-----> Diámetro interno de la tubería de transporte."  
 $\text{epsilon\_trans} = 1e-3$  [m] "-----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{ "OPCIÓN 2: MODELO 20/4 - Ø3/4" (20mm)"  
 $\text{Di\_trans} = 17,6e-3$  [m] "-----> Diámetro interno de la tubería de transporte."  
 $\text{epsilon\_trans} = 1,2e-3$  [m] "-----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{ "OPCIÓN 3: MODELO 25/4 - Ø1" (25mm)"  
 $\text{Di\_trans} = 22e-3$  [m] "-----> Diámetro interno de la tubería de transporte."  
 $\text{epsilon\_trans} = 1,5e-3$  [m] "-----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

"OPCIÓN 4: MODELO 32/4 - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_trans = 29,4e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."  
epsilon\_trans = 1,3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."

{"OPCIÓN 5: MODELO 32/4 SOFT - Ø1-1/4" (32mm)"

Di\_trans = 27,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."  
epsilon\_trans = 2,4e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 6: MODELO 40/4 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_trans = 36,8e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."  
epsilon\_trans = 1,6e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 7: MODELO 40/4 SOFT - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_trans = 34e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."  
epsilon\_trans = 3e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 8: MODELO 40/5 - Ø1-1/2" (40mm)"

Di\_trans = 36,2e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."  
epsilon\_trans = 1,9e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

{"OPCIÓN 9: MODELO 50/4 - Ø2" (50mm)"

Di\_trans = 46e-3 [m] "----> Diámetro interno de la tubería de transporte."  
epsilon\_trans = 2e-3 [m] "----> Espesor de pared de la tubería de transporte."}

"! (2) Pérdidas de carga totales en la tubería de transporte:"

"Las pérdidas de carga totales son la suma de las pérdidas de carga por fricción y por accesorios, así:"

H\_f = h\_fricción + h\_accesorios "[mca] ----> Pérdidas de carga totales en la tubería de transporte."

"! (2,1) Pérdidas de carga por fricción (h\_fricción):"

"Las pérdidas de carga por fricción se determinan a partir de la Ecuación de Darcy-Weisbach:"

$$h_{\text{fricción}} = (1 / 12,1) * ((f_{\text{trans}} * \text{Long}_{\text{trans}} * Q_{\text{dot}_{\text{trans}}}^2) / (D_{\text{calc}_{\text{trans}}}^5))$$
 {REVISAR UNIDADES: Q[m<sup>3</sup>/s],

h\_f[mca], D[m], L[m].}

"Donde:"

Dcalc\_trans = Di\_trans

{epsilon\_trans = epsilon\_trans}

f\_trans = MoodyChart(Re\_trans; RR\_trans) "----> Factor de fricción a partir del Diagrama de Moody."

Re\_trans = (4 \* Q\_dot\_trans) / (pi \* Dcalc\_trans \* nu) "----> Número de Reynolds calculado a partir del caudal."

RR\_trans = epsilon\_trans/Dcalc\_trans "----> Rugosidad relativa de la tubería de transporte."

{nu = mu / rho "[m<sup>2</sup>/s] ----> Viscosidad cinemática del agua."

mu = Viscosity(Water;T=T\_ref;P=P\_ref) "[kg/m.s] ----> Viscosidad dinámica del agua."

rho = Density(Water;T=T\_ref;P=P\_ref) "[kg/m<sup>3</sup>] ----> Densidad del agua."

T\_ref = 25 [°C] "----> Temperatura de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

P\_ref = 101,12 [kPa] "----> Presión de referencia - Locación: Lebrija, Santander."

Q\_dot\_trans = Q\_dot\_prim "[m<sup>3</sup>/s] ----> Caudal transportado en la tubería de transporte."

"! (2,2) Pérdidas de carga por accesorios (h\_accesorios):"

"Las pérdidas de carga localizadas, se determinan a partir de la siguiente ecuación:"

$$h_{\text{accesorios}} = K_{\text{trans}} * (V_2^2 / (2 * g))$$
 "[mca] ----> Pérdidas de carga localizadas en accesorios."

"Donde:"

K\_trans = 1\*(0,2) "----> Coef. de resistencia." {Valor de K para Válvulas manuales de PVC.} { TABLA CATÁLOGO TIGRE }

"Nota: Se pretende usar una válvula manual para el cierre al inicio de la línea de transporte."

"! (3) Ecuación de la Energía:"

"A continuación, mediante la ecuación de la energía se determina la altura del tanque de almacenamiento (H\_1) para el correcto funcionamiento del sistema:"

$$H_1 = H_2 + H_f$$
 "[mca]"

"Donde:"

$$H_1 = z_1$$
 "[mca]----> Energía en el Punto (1)." {Valor teniendo en cuenta el posicionamiento del Punto (1) donde: P\_1 = P\_atm = 0 y v\_1 = 0.}

$$H_2 = (P_2 / \text{gamma}) + ((V_2^2) / (2 * g)) + (z_2)$$
 "[mca]----> Energía en el Punto (2)." {Valor teniendo en cuenta el posicionamiento del Punto (2).} {REVISAR UNIDADES: P\_2 [Pa], V\_2 [m/s<sup>2</sup>], z [m].}

"Siendo:"

$\gamma = \rho \cdot g$  "----> Gravedad específica del agua."  
 {rho = Density(Water;T=T\_ref;P=P\_ref)} "----> Densidad del agua a la temperatura y presión de referencia."  
 {g = 9,78 [m/s^2]} "----> Gravedad en Colombia."  
 $P_{2.mca} = P_2 * (1[mca] / 9806,65 [Pa])$  "----> Presión de operación en el Punto (2) en [mca]."  
 $P_2 = Pinicial_{cabezal} * (9806,65 [Pa] / 1 [mca])$  "[Pa] ----> La presión de operación mínima en el punto (2)." {Valor convertido a [Pa] y teniendo en cuenta que la presión necesaria en el punto (2) es la presión del cabezal.} "NOTA: Para precisar si la conducción está bien diseñada o no, se debe elegir un diámetro que asegure la presión mínima necesaria en el punto (2), que es la presión inicial que se requiere en el cabezal para el correcto funcionamiento del sistema."

"! (4) Límite para la velocidad de circulación del agua:"

"Generalmente, se establece una velocidad máxima del fluido de 3 [m/s] para instalaciones de conducción por gravedad."

"Sin embargo, se recomienda un rango de velocidades de 0,3 a 2,5 [m/s], para asegurar el funcionamiento adecuado de la instalación"

"Entonces, se debe cumplir que:"

" $V_{min.adm} \leq V_{transporte} \leq V_{máx.adm}$ "

"Donde:"

$V_{transporte} = V_2$

$V_{transporte} = Q_{dot.trans} / ((\pi/4) * D_{calc.trans}^2)$  "[m/s] ----> Velocidad del agua en la tubería de transporte."

$V_{min.adm} = 0,3 [m/s]$  "----> Velocidad mínima admisible del agua en la tubería de transporte." {Valor para impedir la deposición en la tubería de cualquier tipo de partícula o impureza.} {FAO}

$V_{máx.adm} = 2,5 [m/s]$  "----> Velocidad máxima admisible del agua en la tubería de transporte." {Valor que pretende contribuir a evitar los fenómenos de golpe de ariete y cavitación.} {FAO}

"Si esta condición no se cumple, se debe SELECCIONAR OTRO DIÁMETRO DE TUBERÍA."

"----- | EXTRA | LONGITUD TOTAL DE TUBERÍAS -----  
 -----"

"! (1) TUBERÍAS LATERALES (PORTA-GOTEROS)"

$Long_{total\_L} = Long_{total\_L\_1} + Long_{total\_L\_2}$  "----> Longitud total de la línea lateral."

"Donde:"

$Long_{total\_L\_1} = (N_{laterales\_1a4\_1} * Long_{lateral\_1a4\_1}) + (N_{laterales\_5a6\_1} * Long_{lateral\_5a6\_1}) + (N_{laterales\_7\_1} * Long_{lateral\_7\_1})$  "----> Longitud total de las laterales en la Subunidad 1."

$Long_{total\_L\_2} = (N_{laterales\_1a5\_2} * Long_{lateral\_1a5\_2}) + (N_{laterales\_6a7\_2} * Long_{lateral\_6a7\_2})$  "----> Longitud total de las laterales en la Subunidad 2."

"! (2) TUBERÍAS TERCIARIAS"

$Long_{total\_T} = Long_{terc\_1} + Long_{terc\_2}$  "----> Longitud total de la línea terciaria."

"! (3) TUBERÍA SECUNDARIA"

$Long_{total\_S} = Long_{sec}$  "----> Longitud total de la línea secundaria."

"! (4) TUBERÍA PRIMARIA"

$Long_{total\_P} = Long_{prim}$  "----> Longitud total de la línea primaria."

"! (5) TUBERÍA DE TRANSPORTE"

$Long_{total\_TRANS} = Long_{trans}$  "----> Longitud total de la línea de transporte."

Figura K-8. Código EES - Resultados en el diseño hidráulico disposición de zigzag.

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$\beta_{L,1} = 1,75$

$\beta_{L,2} = 1,75$

$\beta_{T,1} = 1,75$

$\beta_{T,2} = 1,75$

$D_{\text{calc lateral},1,1} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},2,1} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},3,1} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},4,1} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},5,1} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},6,1} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},7,1} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc prim}} = 0,022 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc trans}} = 0,0294 \text{ [m]}$   
 $\Delta h_{\text{f.comp.cabezal}} = 9 \text{ [mca]}$   
 $\Delta H_{u,2} = 0,316 \text{ [mca]}$   
 $\Delta P_{\text{gotero},2} = 10000 \text{ [mca]}$   
 $\Delta Z_{L1a5,2} = -5,295 \text{ [m]}$   
 $\Delta Z_{L6a7,2} = -7,395 \text{ [m]}$   
 $\Delta Z_{\text{prim}} = -0,4 \text{ [m]}$   
 $\Delta Z_{T,1} = -3,67 \text{ [m]}$

$\text{Dist}_{\text{lat},1} = 6 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{lateral},1} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{prim}} = 0,022 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{terc},1} = 0,022 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{trans}} = 0,0294 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},1,1} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},2} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},2,2} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},3,2} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},4,2} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},5,2} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},6,2} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},7,2} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{sec}} = 0,0015 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{terc},1} = 0,0015 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{trans}} = 0,0013 \text{ [m]}$   
 $F_{cL,1a5,2} = 0,4063 \text{ [adimensional]}$   
 $F_{cL,6a7,2} = 0,3955 \text{ [adimensional]}$   
 $F_{cT,1} = 0,438 \text{ [adimensional]}$   
 $f_{\text{lateral},1,1} = 0,03535 \text{ [adimensional]}$   
 $f_{\text{lateral},2,1} = 0,03535 \text{ [adimensional]}$   
 $f_{\text{lateral},3,1} = 0,03535 \text{ [adimensional]}$   
 $f_{\text{lateral},4,1} = 0,03535 \text{ [adimensional]}$   
 $f_{\text{lateral},5,1} = 0,04713 \text{ [adimensional]}$

$D_{\text{calc lateral},1,2} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},2,2} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},3,2} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},4,2} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},5,2} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},6,2} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc lateral},7,2} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{calc sec1}} = 0,022 \text{ [m]}$   
 $\Delta h_{\text{accesorios}} = 0,1259 \text{ [mca]}$   
 $\Delta H_{u,1} = 0,3462 \text{ [mca]}$   
 $\Delta P_{\text{gotero},1} = 10000 \text{ [mca]}$   
 $\Delta Z_{L1a4,1} = -7,395 \text{ [m]}$   
 $\Delta Z_{L5a6,1} = -5,295 \text{ [m]}$   
 $\Delta Z_{L7,1} = -3,195 \text{ [m]}$   
 $\Delta Z_{\text{sec}} = 0 \text{ [m]}$   
 $\Delta Z_{T,2} = 0 \text{ [m]}$   
 $\text{Dist}_{\text{lat},2} = 6 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{lateral},2} = 0,014 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{sec}} = 0,022 \text{ [m]}$   
 $D_{\text{terc},2} = 0,022 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},1} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},1,2} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},2,1} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},3,1} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},4,1} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},5,1} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},6,1} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{lateral},7,1} = 0,001 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{prim}} = 0,0015 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{sec1}} = 0,0015 \text{ [m]}$   
 $\varepsilon_{\text{terc},2} = 0,0015 \text{ [m]}$   
 $F_{cL,1a4,1} = 0,3955 \text{ [adimensional]}$   
 $F_{cL,5a6,1} = 0,4063 \text{ [adimensional]}$   
 $F_{cL,7,1} = 0,4284 \text{ [adimensional]}$   
 $F_{cT,2} = 0,438 \text{ [adimensional]}$   
 $f_{\text{lateral},1,2} = 0,04713 \text{ [adimensional]}$   
 $f_{\text{lateral},2,2} = 0,04713 \text{ [adimensional]}$   
 $f_{\text{lateral},3,2} = 0,04713 \text{ [adimensional]}$   
 $f_{\text{lateral},4,2} = 0,04713 \text{ [adimensional]}$   
 $f_{\text{lateral},5,2} = 0,04713 \text{ [adimensional]}$

$f_{lateral,6,1} = 0,04713$  [adimensional]  
 $f_{lateral,7,1} = 0,07069$  [adimensional]  
 $f_{prim} = 0,08551$  [adimensional]  
 $f_{sec2} = 0,08771$   
 $f_{terc,2} = 0,08771$  [adimensional]  
 $g = 9,73$  [m/s<sup>2</sup>]  
 $H_1 = 18,69$  [mca]  
 $h_{acces.lat} = 0,017$  [mca]  
 $h_{acces.terc} = 0,08096$  [mca]  
 $H_f = 1,17$  [mca]  
 $h_{f.filtroanillas} = 2$  [mca]  
 $h_{f.lateral.admisible,2} = 5500$  [mca]  
 $h_{f.lateral.real,2} = 0,07967$  [mca]  
 $h_{f.laterales,2} = 0,07967$  [mca]  
 $h_{f.lateral,1,2} = 0,009237$  [mca]  
 $h_{f.lateral,2,2} = 0,009237$   
 $h_{f.lateral,3,2} = 0,009237$  [mca]  
 $h_{f.lateral,4,2} = 0,009237$  [mca]  
 $h_{f.lateral,5,2} = 0,009237$  [mca]  
 $h_{f.lateral,6,2} = 0,01674$  [mca]  
 $h_{f.lateral,7,2} = 0,01674$  [mca]  
 $h_{f.L,1,2} = 0,02273$  [mca]  
 $h_{f.L,2,2} = 0,02273$  [mca]  
 $h_{f.L,3,2} = 0,02273$  [mca]  
 $h_{f.L,4,2} = 0,02273$  [mca]  
 $h_{f.L,5,2} = 0,02273$  [mca]  
 $h_{f.L,6,2} = 0,04234$  [mca]  
 $h_{f.L,7,2} = 0,04234$  [mca]  
 $h_{f.regpres} = 5$  [mca]  
 $h_{f.sec1} = 0,01598$  [mca]  
 $h_{f.terc.admisible,1} = 10000$  [mca]  
 $h_{f.terc,1} = 0,2569$  [mca]

$f_{lateral,6,2} = 0,03535$  [adimensional]  
 $f_{lateral,7,2} = 0,03535$  [adimensional]  
 $f_{sec1} = 0,08753$  [adimensional]  
 $f_{terc,1} = 0,08753$  [adimensional]  
 $f_{trans} = 0,07118$   
 $\gamma = 9701$  [N/m<sup>3</sup>]  
 $H_2 = 17,52$  [mca]  
 $h_{acces.sec} = 0,02794$  [mca]  
 $h_{accesorios} = 0,0009735$  [m]  
 $h_{f.cabezal} = 9,126$  [mca]  
 $h_{f.lateral.admisible,1} = 5500$  [mca]  
 $h_{f.lateral.real,1} = 0,08936$  [mca]  
 $h_{f.laterales,1} = 0,08936$  [mca]  
 $h_{f.lateral,1,1} = 0,01674$  [mca]  
 $h_{f.lateral,2,1} = 0,01674$  [mca]  
 $h_{f.lateral,3,1} = 0,01674$  [mca]  
 $h_{f.lateral,4,1} = 0,01674$  [mca]  
 $h_{f.lateral,5,1} = 0,009237$  [mca]  
 $h_{f.lateral,6,1} = 0,009237$  [mca]  
 $h_{f.lateral,7,1} = 0,003918$  [mca]  
 $h_{f.L,1,1} = 0,04234$  [mca]  
 $h_{f.L,2,1} = 0,04234$  [mca]  
 $h_{f.L,3,1} = 0,04234$  [mca]  
 $h_{f.L,4,1} = 0,04234$  [mca]  
 $h_{f.L,5,1} = 0,02273$  [mca]  
 $h_{f.L,6,1} = 0,02273$  [mca]  
 $h_{f.L,7,1} = 0,009145$  [mca]  
 $h_{f.prim} = 0,2394$  [mca]  
 $h_{f.sec} = 0,6322$  [mca]  
 $h_{f.sec2} = 0,6322$  [mca]  
 $h_{f.terc.admisible,2} = 10000$  [mca]  
 $h_{f.terc,2} = 0,2364$  [mca]

## **Anexo L. Creación de componentes de Routing en SolidWorks mediante el asistente *Routing Component Wizard***

*SOLIDWORKS Routing* es un complemento del software SolidWorks disponible con la licencia Premium, que permite automatizar el proceso de modelado de trayectos (o rutas) de tuberías mediante la creación de un subensamblaje de recorrido dentro de un ensamblaje.

Con *SOLIDWORKS Routing* es posible crear recorridos de sistemas de tuberías (*Piping*), tuberías (*Tubing*), eléctricos como mangueras y cables (*Electrical*), conductos (*Conduit*), entre otros.

Cuenta con una carpeta en la *Biblioteca de diseño* de SolidWorks titulada *Routing*. Adicionalmente, se permite al usuario crear bibliotecas con componentes personalizados denominados *piezas de recorrido*. Estos modelos deben poseer ciertas características de geometría para poder agregarse a la carpeta *Routing* en la Biblioteca de diseño. Principalmente, es necesario definir los Puntos C (*Cpoint*) y Puntos R (*Rpoint*), cuya finalidad es guiar los trayectos en los Subensamblajes de *Routing*.

--- Puntos C (*Cpoint*): Son los puntos de conexión donde el recorrido inicia o termina.

--- Puntos R (*Rpoint*): Son los puntos de recorrido. Se usan para posicionar los componentes en el trayecto, como por ejemplo en una inserción o punto final específico.

Parámetros asociados a los Puntos C y R pueden ser incluidos en las Tablas de diseño, por lo que es un complemento bastante versátil.

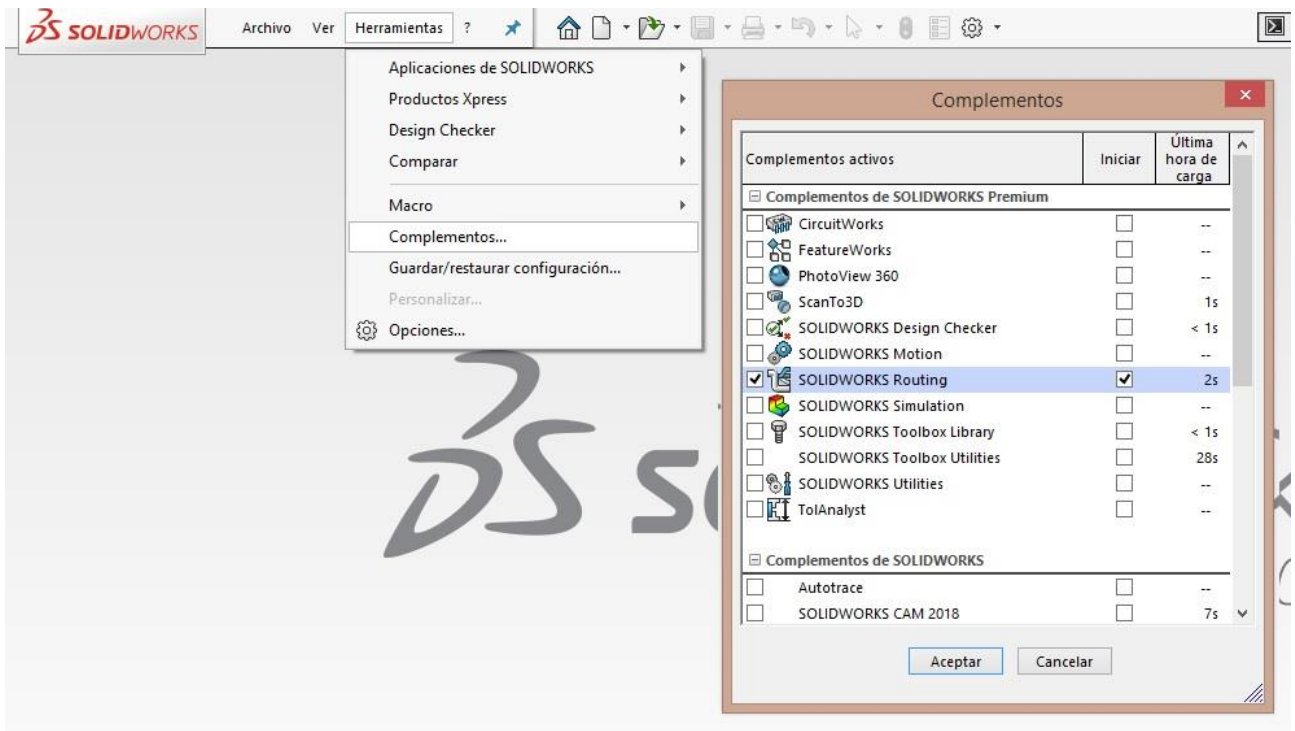
*SOLIDWORKS Routing* pone a disposición de los usuarios el asistente *Routing Component Wizard* disponible en la herramienta *Routing Library Manager* para la validación del modelo de las piezas de recorrido creadas de forma personalizada.

A continuación, se presenta el procedimiento para la creación como componente de Routing del conector en T presente en el sistema de riego por goteo en SolidWorks mediante el asistente Routing Component Wizard. Los demás componentes del sistema de riego se trataron siguiendo los mismos pasos.

### L.1. Paso 1: Iniciar el complemento **SOLIDWORKS Routing**.

Para activar el complemento se debe ir a la pestaña *Herramientas > Complementos*. En el cuadro de diálogo Complementos se va a iniciar **SOLIDWORKS Routing**.

Figura L-1. Ubicación del complemento SOLIDWORKS Routing.



Una vez se ha iniciado el complemento, en el *Administrador de comandos* se incrustan de forma predeterminada las barras de herramientas relacionadas con el

Routing: sistema de tuberías (*piping*), tubos flexibles (*tubing*), recorrido definido por el usuario y componentes eléctricos (*electrical*).

Figura L-2. Barras de herramientas predeterminadas de Routing en el Administrador de comandos.



## L.2. Paso 2: Agregar los Puntos C y R a la pieza.

Los puntos C y R se agregan a una pieza que ha sido modelada (y parametrizada, según sea el caso) previamente.

Dependiendo del componente, es necesario agregar dos o más puntos de conexión (*Cpoints*). Así mismo, a partir de las características de la pieza se va a posicionar el punto de recorrido (*Rpoints*).

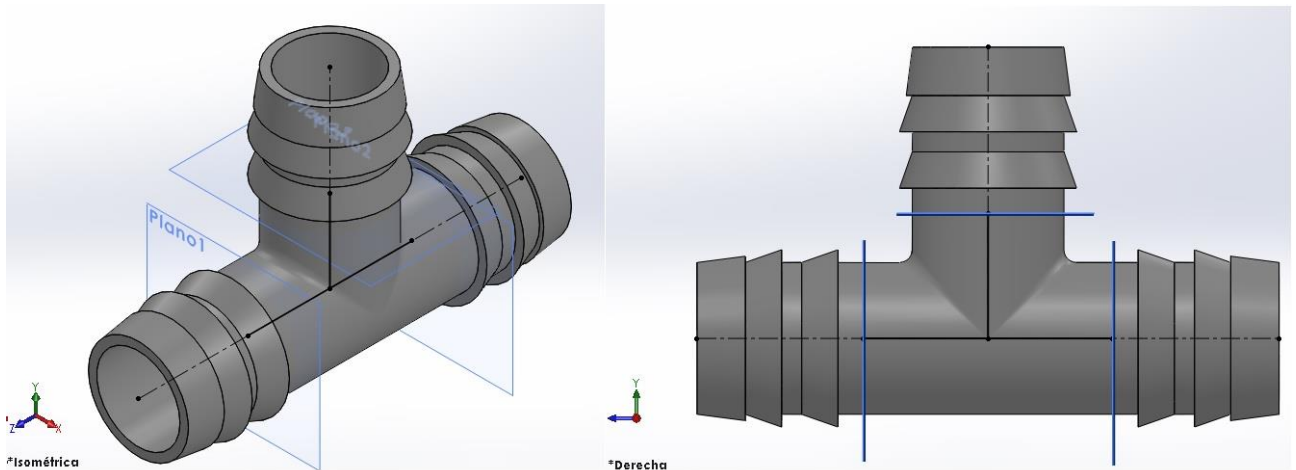
Para el caso del conector en T se van a emplear tres puntos de conexión (uno para cada pasaje del fluido) y un punto de recorrido (en el lugar donde los flujos se mezclan o bifurcan).

A continuación, se presenta el procedimiento para agregar puntos C y R:

--- **Primero: Crear geometría de referencia.** Es necesario crear geometría que sirva de guía en el posicionamiento de los puntos: un croquis y tres planos, como se muestra en la Figura L-3. En este paso, se debe tener claro desde dónde se desea que inicie la tubería en la pieza. La posición de los puntos C en el conector T no es exactamente en los límites

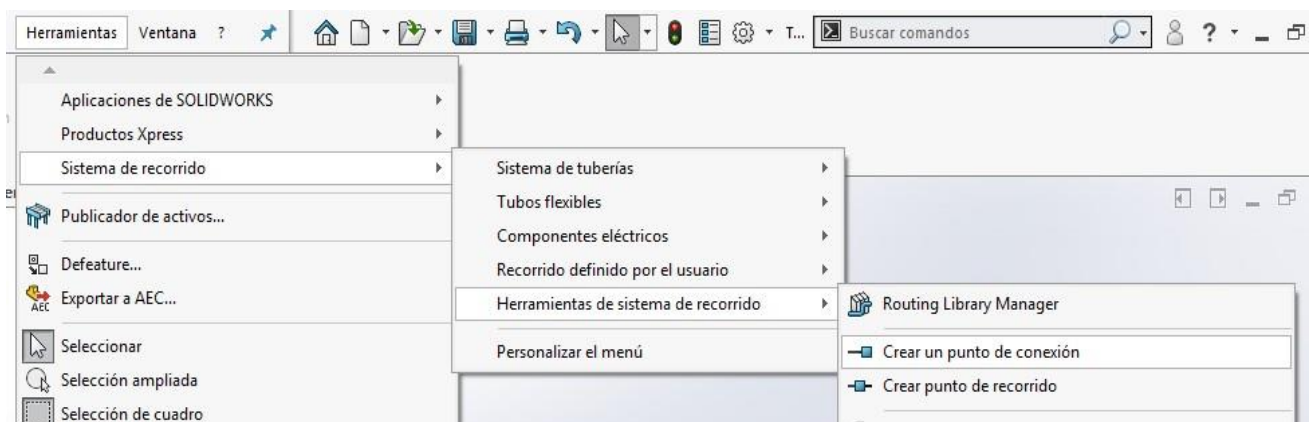
de los brazos, debido a que en la vida real la tubería PE es insertada más allá de la rosca para asegurar un correcto ensamblaje.

Figura L-3. Geometría guía para el posicionamiento de los Puntos C y R.



--- **Segundo: Crear punto de conexión.** La opción para la creación de puntos de conexión se encuentra en *Herramientas > Sistemas de recorrido > Herramientas de sistemas de recorrido > Crear un punto de conexión.*

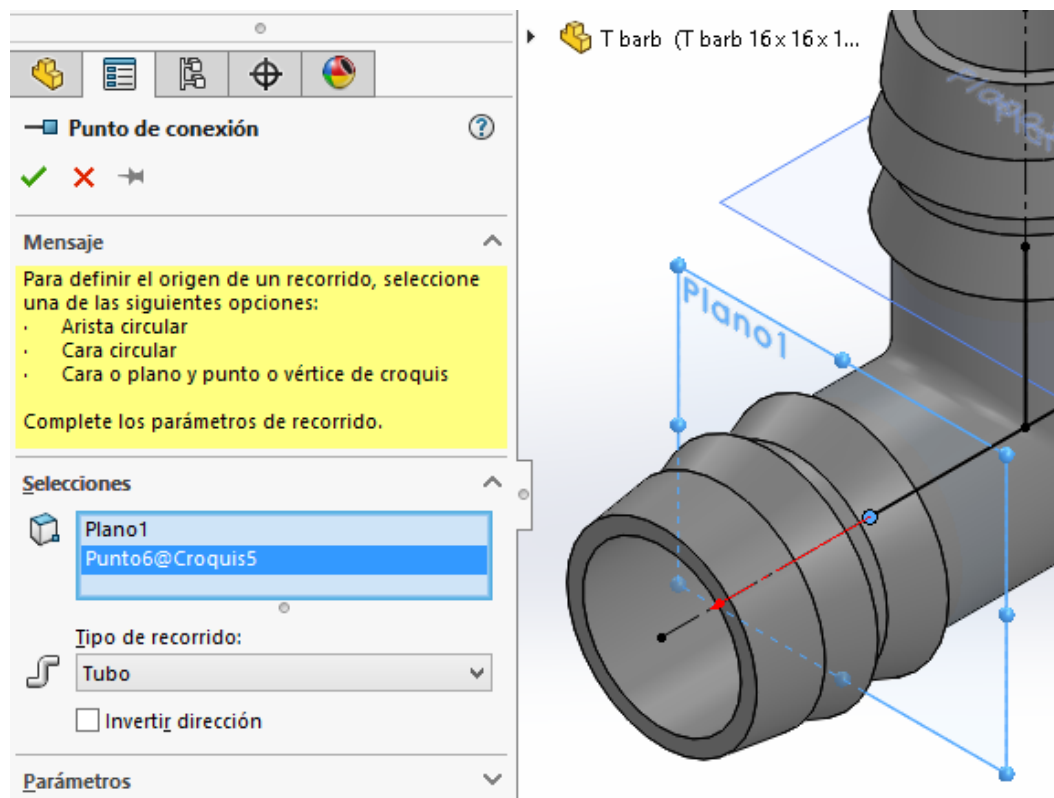
Figura L-4. Ubicación de la opción *Crear un punto de conexión.*



Seleccionada la opción, se abre el *PropertyManager Punto de conexión* conformado por dos categorías. En la primera, *Selecciones*, se debe definir el origen del recorrido seleccionando el plano y punto de croquis, y el tipo de recorrido. En el ensamblaje del sistema de riego por goteo se usan tuberías flexibles, por lo que el tipo de recorrido seleccionado es tubo.

A partir de las selecciones se genera una flecha indicativa de color rojo (véase Figura L-5), en este caso, la dirección es correcta; pero en caso contrario, se debe activar la opción “Invertir selección”.

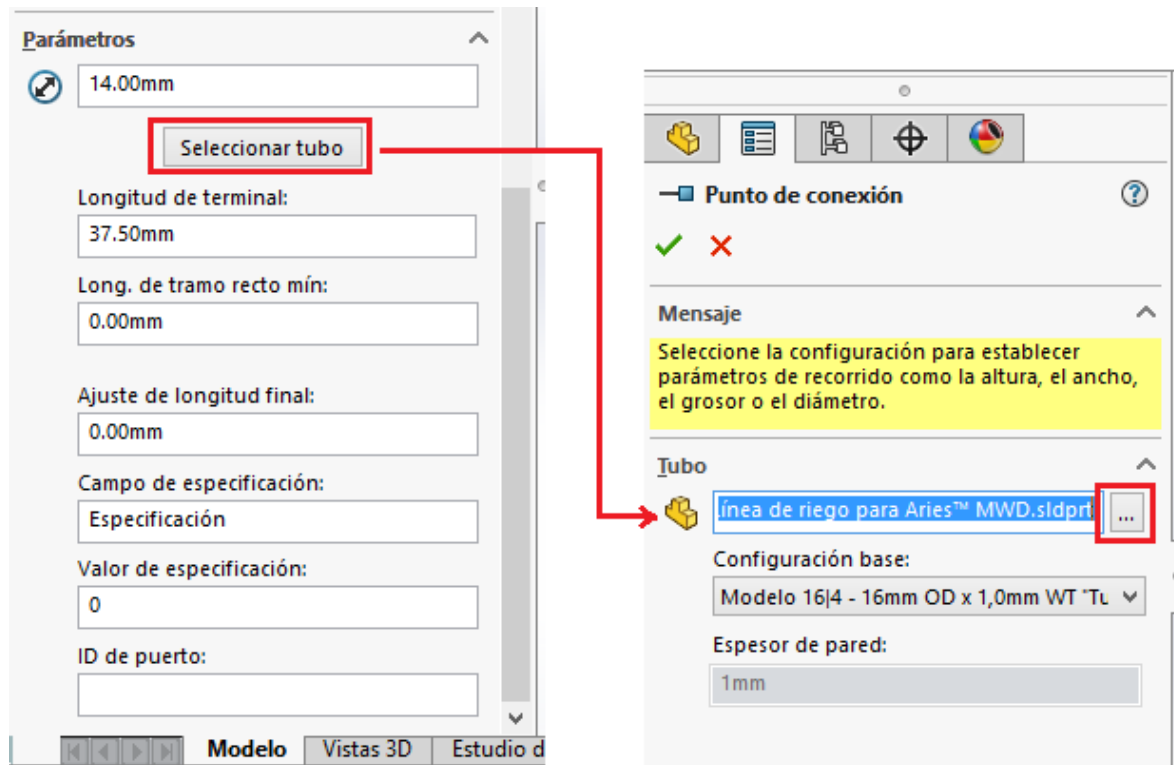
Figura L-5. Categoría *Selecciones* en el *PropertyManager Punto de conexión*.



En la segunda categoría, *Parámetros*, se debe seleccionar el modelo de tubo que será asociado por defecto al punto de conexión en la generación del trayecto y establecer la dimensión de los demás parámetros. Si ninguna

de las opciones de tubería disponible en la Biblioteca de diseño del Routing aplica para el proyecto, es posible crear una tubería personalizada. Debido a que en el sistema de riego por goteo se usaron tuberías Netafim™ PE estándar, fue necesario agregar el modelo 3D CAD a la biblioteca, siguiendo el procedimiento descrito en este anexo desde el Paso 3 en adelante (la creación de tuberías personalizadas no requiere Puntos C y R). Para escoger el modelo de tubo se elige la opción “Seleccionar tubo”.

Figura L-6. Categoría *Parámetros* en el *PropertyManager Punto de conexión*.

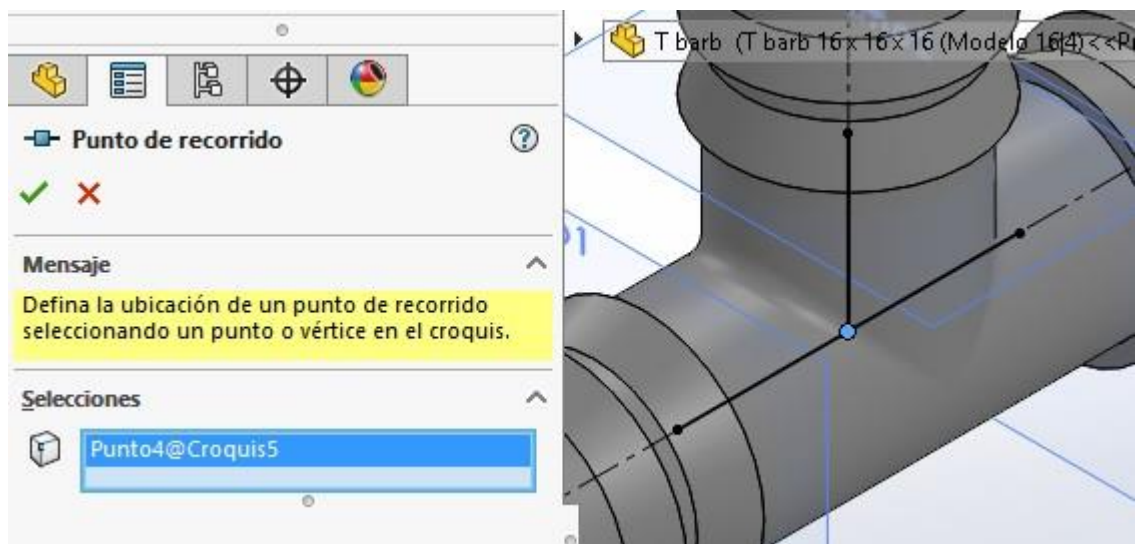


Finalizado el ajuste de parámetros, se crea el primer punto de conexión. Los dos puntos restantes se generan siguiendo el mismo procedimiento.

--- **Tercero: Crear punto de recorrido.** La opción para la creación de puntos de recorrido se ubica un nivel más abajo respecto a la de los puntos

de conexión (véase Figura L-4). Una vez se ha seleccionado, se abre el *PropertyManager Punto de recorrido* que cuenta con sólo una categoría, *Selecciones*, donde se debe definir la ubicación del punto de recorrido a partir de la selección de un punto en un croquis. En este caso, se selecciona el punto de intersección de los segmentos en el croquis de referencia, como se muestra en la Figura L-7.

Figura L-7. Categoría *Selecciones* en el *PropertyManager Punto de recorrido*.



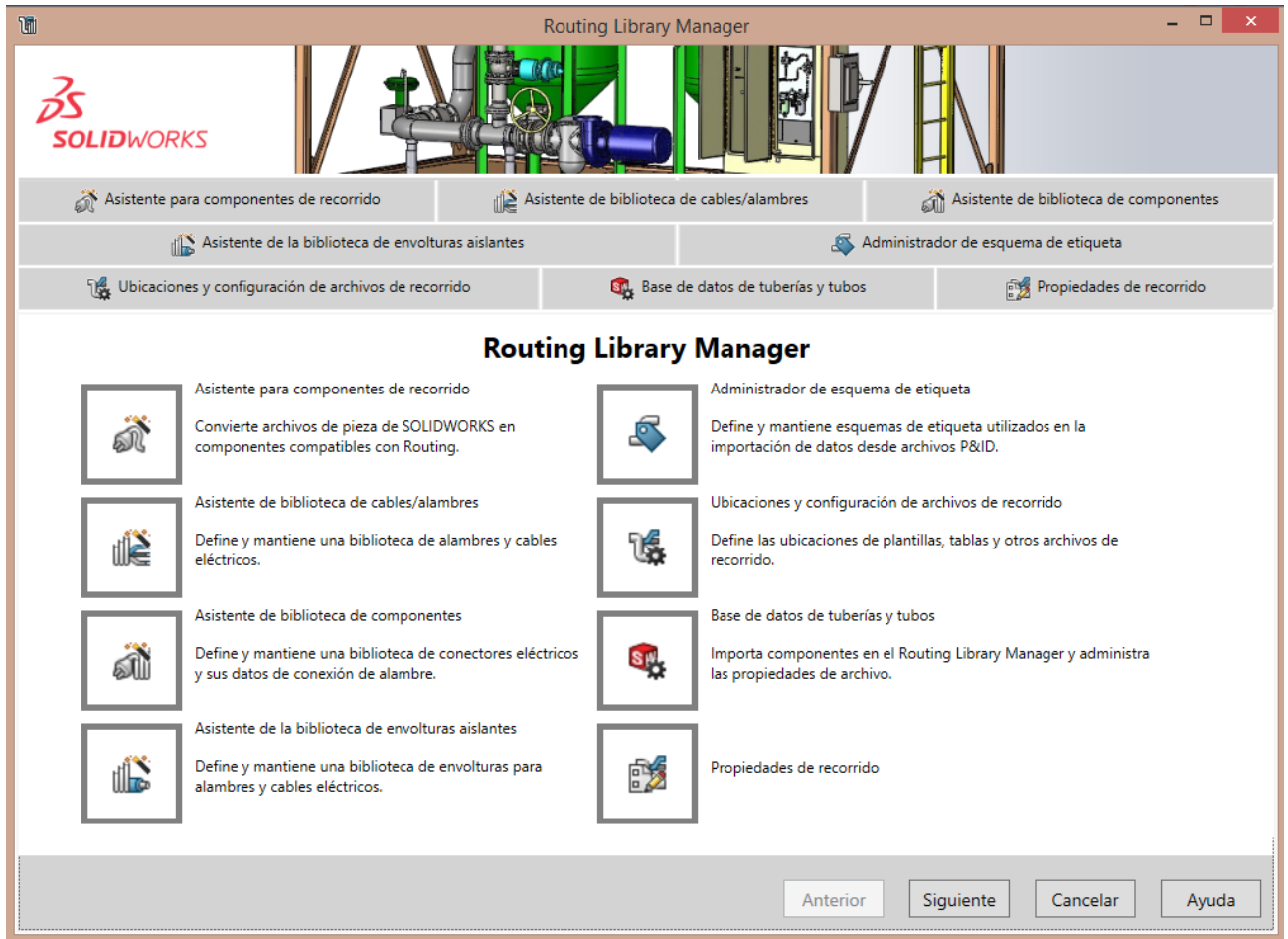
### L.3. Paso 3: Abrir la herramienta *Routing Library Manager*.

Establecidos los Puntos C y R, se procede a abrir el asistente *Routing Component Wizard* disponible en la herramienta *Routing Library Manager*.

Para esto, se debe ir a la pestaña *Herramientas > Sistemas de recorrido > Herramientas de sistemas de recorrido > Routing Library Manager* como se muestra en la Figura L-4, un nivel superior de *Crear punto de conexión*.

Una vez seleccionada la herramienta, se abre una ventana no modal independiente de la pantalla principal de SolidWorks donde se encuentra el asistente para componentes de recorrido (*Routing Component Wizard*).

Figura L-8. Ventana de la herramienta *Routing Library Manager*.



#### L.4. Paso 4: Agregar el componente a la Biblioteca de diseño del Routing mediante el asistente *Routing Component Wizard*.

El asistente para componentes de recorrido (*Routing Component Wizard*) se divide en 8 categorías: seleccionar tipo de recorrido, seleccionar tipo de componente, puntos de funcionalidad del sistema de recorrido, geometría de sistema de recorrido, comprobación de validez de pieza, comprobación de tabla de diseño, atributos de componente y guardar componente en la biblioteca.

--- **Primero: Seleccionar tipo de recorrido.** De acuerdo con las características de tubería flexible en el trayecto del sistema de riego se selecciona el tipo de recorrido: tuberías.

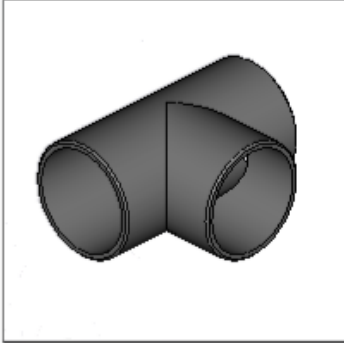
Figura L-9. *Seleccionar tipo de recorrido* en Asistente para componentes de recorrido.

	<b>Asistente para componentes de recorrido</b>
<b>Seleccionar tipo de recorrido</b>	Tipo de recorrido:
<b>Seleccionar tipo de componente</b>	<input type="radio"/> Eléctrico
<b>Puntos de funcionalidad del sistema de recorrido</b>	<input type="radio"/> Misceláneo
<b>Geometría de sistema de recorrido</b>	<input type="radio"/> Sistema de tuberías
	<input checked="" type="radio"/> Tuberías
	<input type="radio"/> Definido por el usuario

--- **Segundo: Seleccionar tipo de componente.** Se escoge empalme en T.

Figura L-10. *Seleccionar tipo de componente* en Asistente para componentes de recorrido.

<b>Seleccionar tipo de recorrido</b>	<b>Asistente para componentes de recorrido</b>
<b>Seleccionar tipo de componente</b>	Tipo de componente
<b>Puntos de funcionalidad del sistema de recorrido</b>	<input type="radio"/> Adaptador
<b>Geometría de sistema de recorrido</b>	<input type="radio"/> Brida final
<b>Comprobación de validez de pieza</b>	<input type="radio"/> Cruz
<b>Comprobación de tabla de diseño</b>	<input checked="" type="radio"/> Empalme en T
<b>Atributos de componente</b>	<input type="radio"/> Empalmes de ensamblaje
<b>Guardar componente en la biblioteca</b>	<input type="radio"/> Junta
	<input type="radio"/> Otros empalmes
	<input type="radio"/> Reductor
	<input type="radio"/> Soporte colgante
	<input type="radio"/> Tubo
	<input type="radio"/> Válvulas



--- **Tercero: Puntos de funcionalidad del sistema de recorrido.** Los puntos de funcionalidad hacen referencia a los puntos de conexión y recorrido (Puntos C y R). En esta categoría, el asistente valida los puntos C y R creados previamente (véase Sección L.2. Paso 2).

Figura L-11. *Puntos de funcionalidad del sistema* en Asistente para componentes de recorrido.

Seleccionar tipo de recorrido

Seleccionar tipo de componente

Puntos de funcionalidad del sistema de recorrido

Geometría de sistema de recorrido

Comprobación de validez de pieza

Comprobación de tabla de diseño

Atributos de componente

Guardar componente en la

### Asistente para componentes de recorrido

Tuberías>Empalme en T

Puntos obligatorios:

Estado	Tipo de punto	N.º de puntos
<input type="button" value="Editar"/> <input type="button" value="Eliminar"/>	PuntoC	3 ( Presente )
<input type="button" value="Editar"/> <input type="button" value="Eliminar"/>	PuntoR	1 ( Presente )

Configuración de puntoC

Agregar todos los puntosC

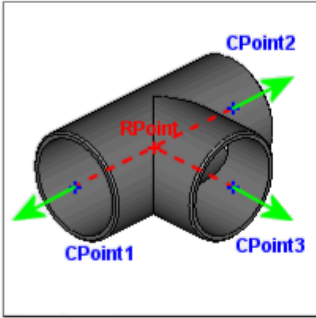
No conectar puntoC

Seleccionar puntosC

Rojo denota la geometría necesaria que no está presente en el componente

Azul denota la geometría opcional que no está presente en el componente

Verde denota la geometría necesaria u opcional que está presente en el componente



--- **Cuarto: Geometría de sistema de recorrido.** En esta categoría, el asistente valida que no exista geometría necesaria ausente en la pieza.

Figura L-12. *Geometría de sistema de recorrido* en Asistente para componentes de recorrido.

Seleccionar tipo de recorrido

Seleccionar tipo de componente

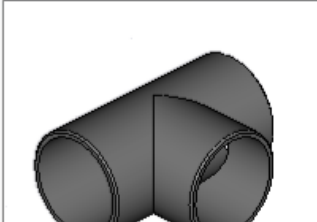
Puntos de funcionalidad del sistema de recorrido

Geometría de sistema de recorrido

### Asistente para componentes de recorrido

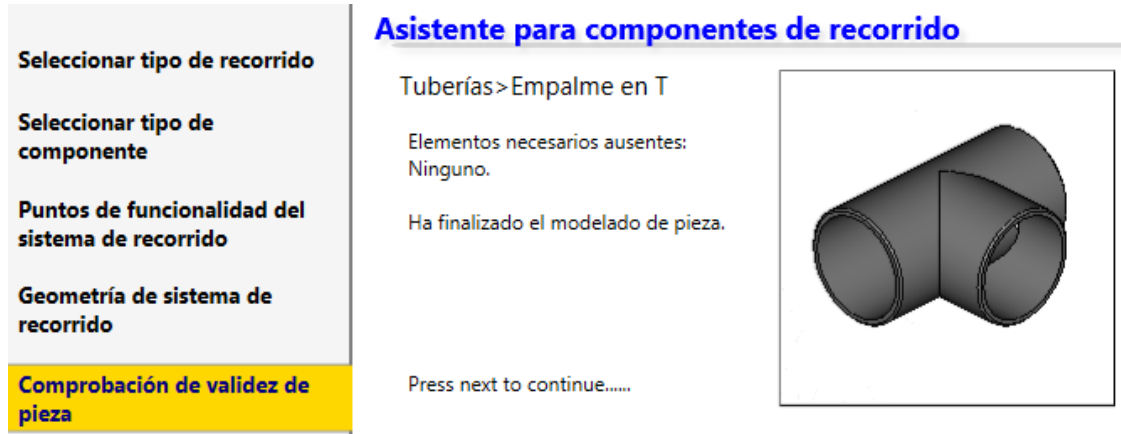
Tuberías>Empalme en T

No se requiere geometría especial.



--- **Quinto: Comprobación de validez de pieza.** El asistente valida si existe algún elemento necesario en la pieza que esté ausente.

Figura L-13. *Comprobación de validez de pieza* en Asistente para componentes de recorrido.



--- **Sexto: Comprobación de tabla de diseño.** Parámetros asociados a los Puntos C y R pueden variarse a partir de una tabla de diseño. Para el conector en T se incluyen en la tabla de diseño el diámetro de la tubería ligada a los puntos de conexión, especificación y longitud (véase Figura 74).

Figura L-14. *Comprobación de tabla de diseño* en Asistente para componentes de recorrido.

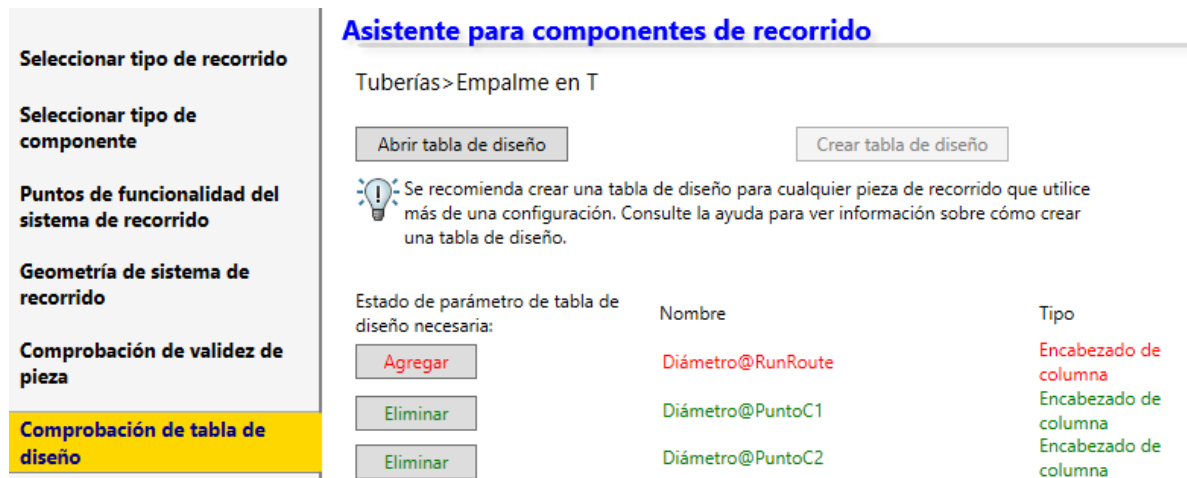


Figura L-14. *Comprobación de tabla de diseño* en Asistente para componentes (Continuación).

<b>Atributos de componente</b>  <b>Guardar componente en la biblioteca</b>	Eliminar	Diámetro@PuntoC3	Encabezado de columna
	Eliminar	Especificación@PuntoC1	Encabezado de columna
	Eliminar	Especificación@PuntoC2	Encabezado de columna
	Eliminar	Especificación@PuntoC3	Encabezado de columna
	Eliminar	\$PRP@Tamaño nominal de la tubería	Encabezado de columna

A diferencia de las categorías anteriores, en la *Comprobación de tabla de diseño* el asistente revisa los parámetros asociados a los Puntos C y R en la tabla de diseño de la pieza y presenta recomendaciones, que pueden ignorarse según sea el caso.

--- **Séptimo: Atributos de componente.** Se pueden modificar las propiedades de configuración y de archivo como se desee.

Figura L-15. *Atributos de componente* en Asistente para componentes de recorrido.

**Seleccionar tipo de recorrido**

**Seleccionar tipo de componente**

**Puntos de funcionalidad del sistema de recorrido**

**Geometría de sistema de recorrido**

**Comprobación de validez de pieza**

**Comprobación de tabla de diseño**

**Atributos de componente**

**Guardar componente en la biblioteca**

### Asistente para componentes de recorrido

Tuberías>Empalme en T

Propiedades de configuración:

Configuración:

Nombre	Tipo	Valor
RoutingTerminalBlockComp	Texto	no
Tamaño nominal de la tubería	Texto	16

Propiedades de archivo:

Nombre	Tipo	Valor
Material	Texto	PE densidad baja/media.
RouteOnDrop	Texto	Yes
Component Type	Texto	Tee
PartNo		
Description		
Comment		
Manufacturer		

--- **Octavo: Guardar componente en la biblioteca.** Finalmente, se escoge el nombre y la ubicación de la carpeta de biblioteca en la que se desea guardar el componente. Para guardar los cambios se debe seleccionar la opción “Finalizar”.

Figura L-16. Guardar componente en la biblioteca en Asistente para componentes de recorrido.

**Asistente para componentes de recorrido**

Tuberías > Empalme en T

Nombre de componente:

T barb.sldprt

Ubicación de la carpeta de la biblioteca:

C:\ProgramData\SolidWorks\SOLIDWORKS 2018\design library\routing\tubing

Anterior Finalizar Cancelar Ayuda

### L.5. Paso 5: Verificar la ubicación del modelo en la Biblioteca de diseño del Routing.

La ubicación predeterminada en el computador de la carpeta *Routing* en la Biblioteca de diseño es:

*C:\ProgramData\SolidWorks\SOLIDWORKS 2018\design library\routing*

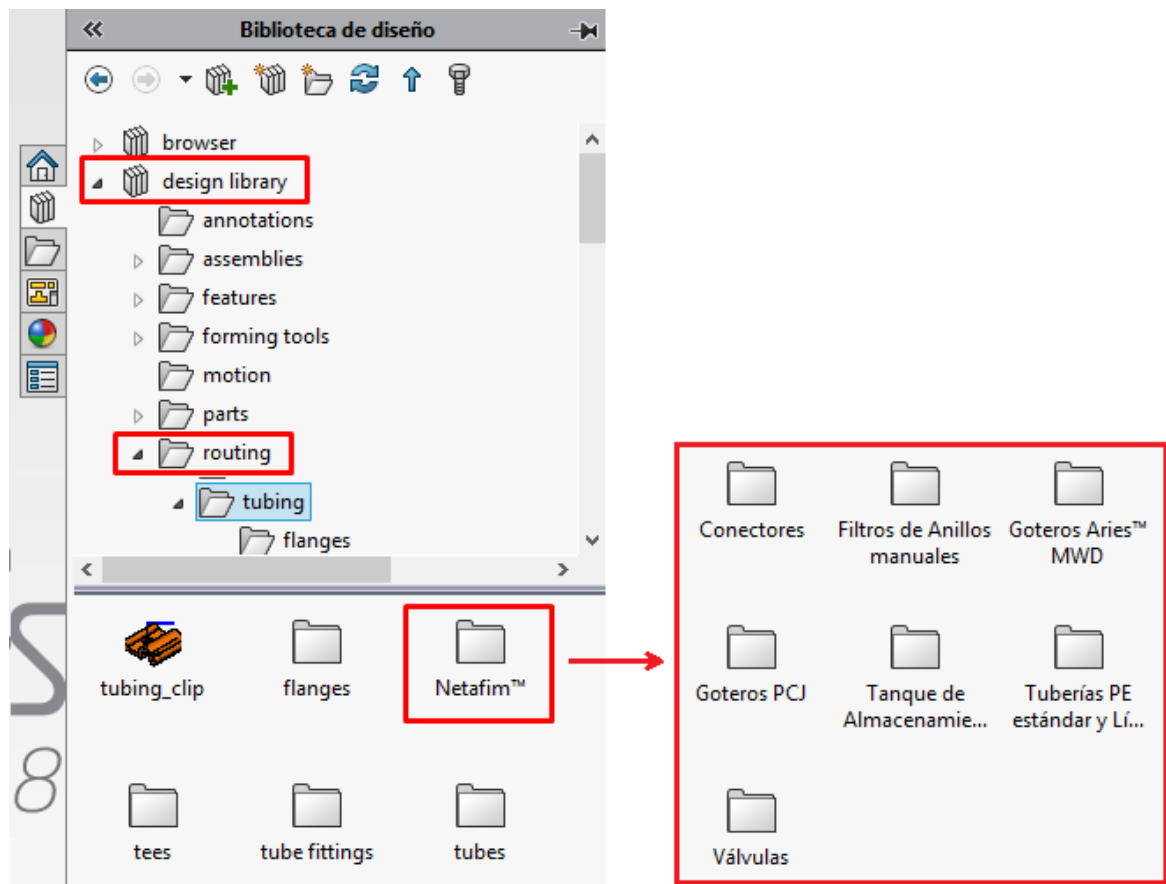
Siguiendo la ruta es posible acceder a la carpeta *tubing* y crear internamente desde el computador una nueva carpeta personalizada.

Para guardar todos los componentes del sistema de riego por goteo se crea la carpeta “Netafim™” en la ubicación:

*C:\ProgramData\SolidWorks\SOLIDWORKS 2018\design library\routing\tubingNetafim™*

La Biblioteca de diseño se actualiza automáticamente y muestra los cambios que se realicen desde el computador, como se muestra en la Figura L-17.

Figura L-17. Carpeta *Netafim™* en la Biblioteca de diseño del Routing.



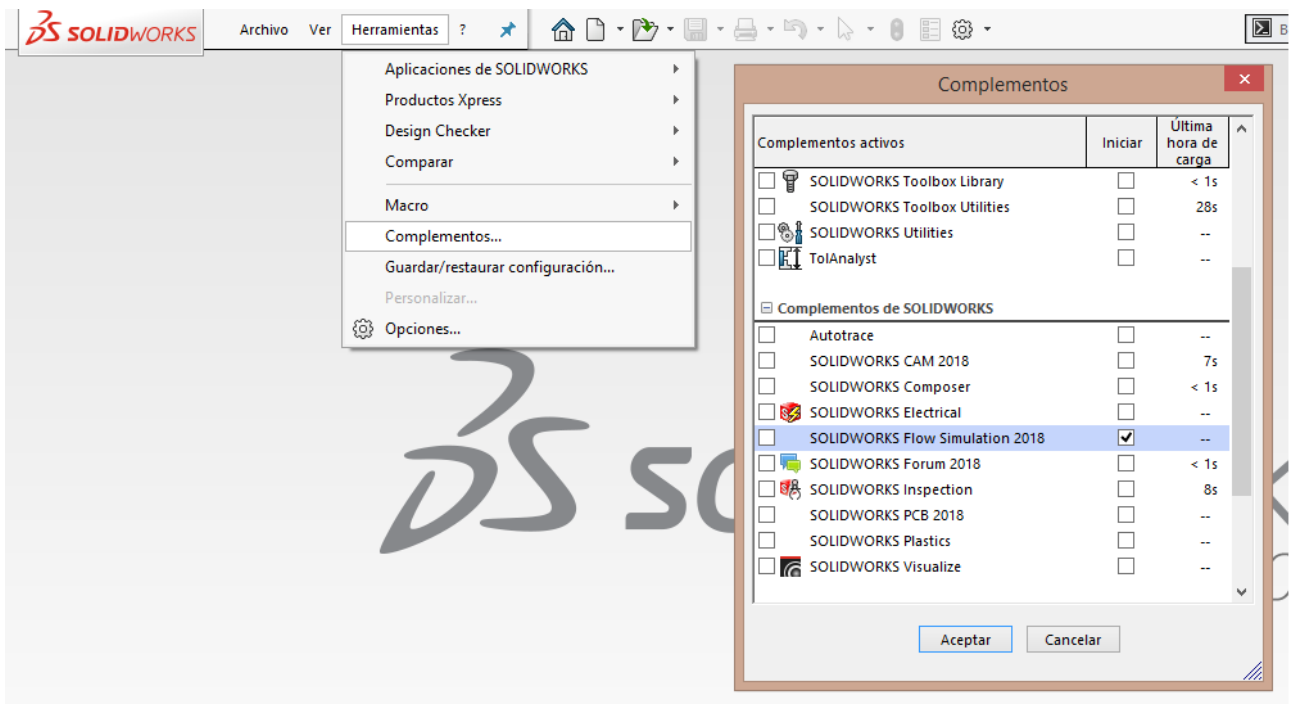
## Anexo M. Procedimiento para la simulación del sistema de riego por goteo mediante *SolidWorks Flow Simulation*

En este anexo, se va a mostrar el procedimiento para la generación de un nuevo proyecto de simulación mediante el complemento *SolidWorks Flow Simulation* con el que se pretende evaluar el funcionamiento del sistema de riego modelado en el software 3D CAD SolidWorks.

### M.1. Paso 1: Iniciar el complemento *SOLIDWORKS Routing*.

Para activar el complemento se debe ir a la pestaña *Herramientas* > *Complementos*. En el cuadro de diálogo *Complementos* se va a iniciar *SolidWorks Flow Simulation*.

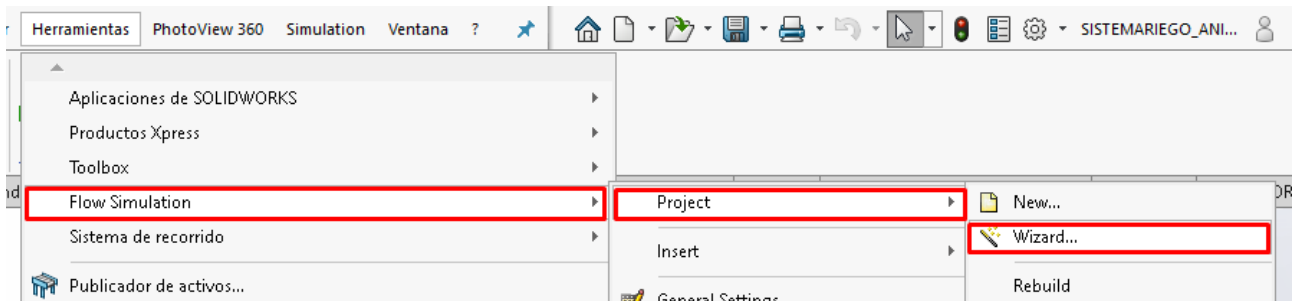
Figura M-1. Ubicación del complemento SolidWorks Flow Simulation.



## M.2. Paso 2: Iniciar el asistente de creación de proyectos de *SolidWorks Flow Simulation*.

Para iniciar el asistente de creación de proyectos (*Wizard*) se debe ir a la pestaña *Herramientas* > *Flow Simulation* > *Project* > *Wizard*.

Figura M-2. Asistente de creación de proyectos de SolidWorks Flow Simulation.



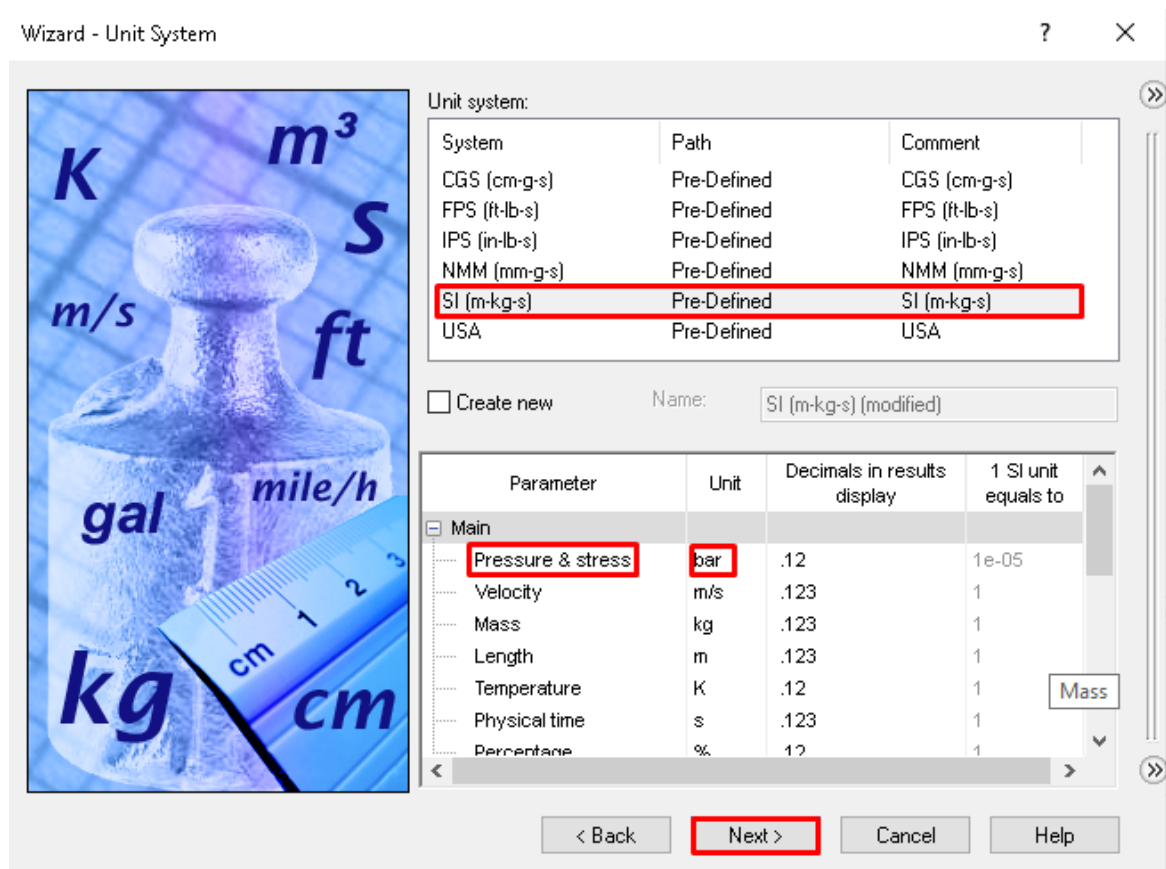
## M.3. Paso 3: Completar el procedimiento en el Asistente de creación de proyectos de SolidWorks Flow Simulation.

El asistente de creación de proyectos se abre en una ventana nueva independiente de la pantalla principal de SolidWorks. En el asistente se van a definir características del proyecto como título, sistema de unidades, tipo de análisis, tipo de fluido, condiciones de pared e iniciales.

--- **Título del proyecto.** El proyecto se va a titular “Sistema de riego”.

--- **Sistema de unidades.** Para facilitar la lectura de resultados en la simulación, se establece que la presión esté en bares, debido a que todos las presión en el diseño en detalle se trabajaron en metros columna de agua (1 bar = 10 mca).

Figura M-3. Sistema de unidades en el Asistente de creación de proyectos.



--- **Tipo de análisis.** La simulación de flujo en el sistema de riego por goteo es de tipo interno (véase Figura M-4). Adicionalmente, se debe establecer la dirección y valor de la fuerza de gravedad; y, asegurar que las caras/regiones por las que no circule el fluido sean excluidas del estudio mediante la opción “Exclude cavities without flow condition”.

--- **Tipo de fluido.** El tipo de fluido en el sistema de riego por goteo es agua y se selecciona como se muestra en la Figura M-5.

--- **Condiciones de pared.** En este paso se mantienen las condiciones predeterminadas: pared adiabática.

Figura M-4. Tipo de análisis en el Asistente de creación de proyectos.

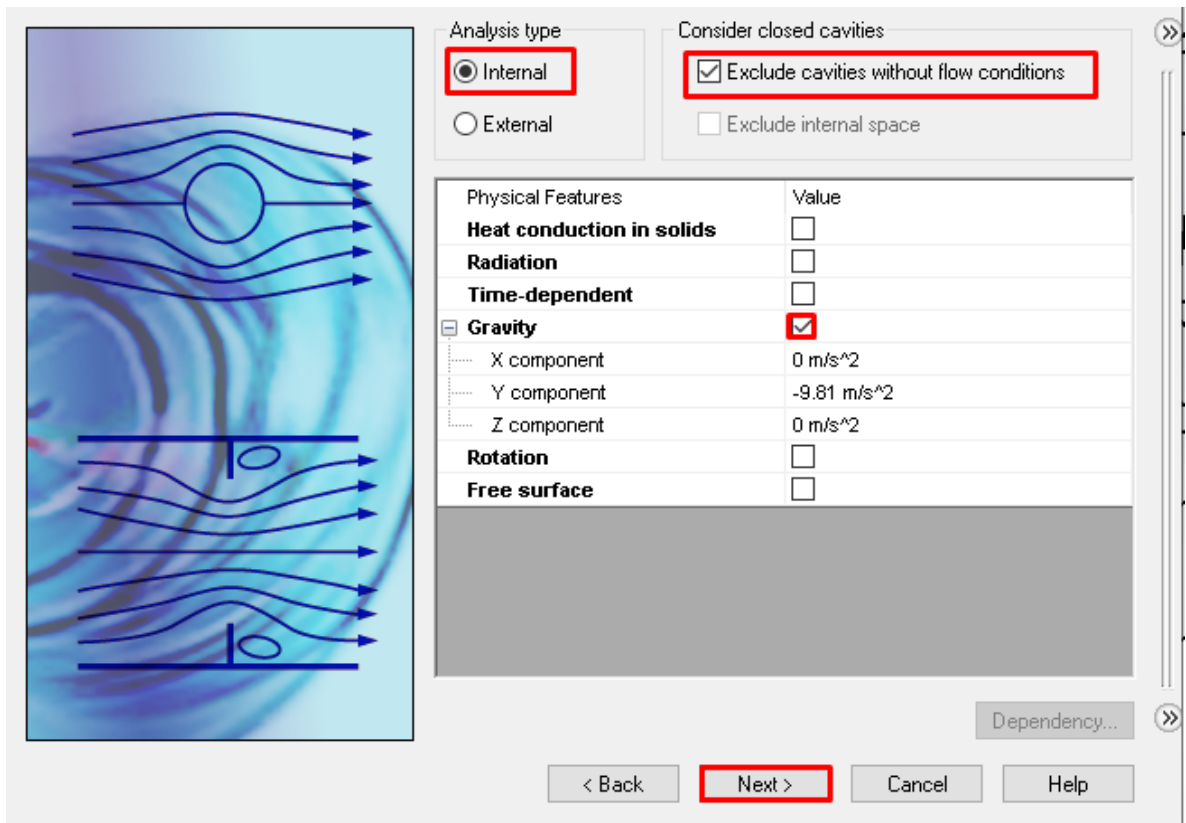
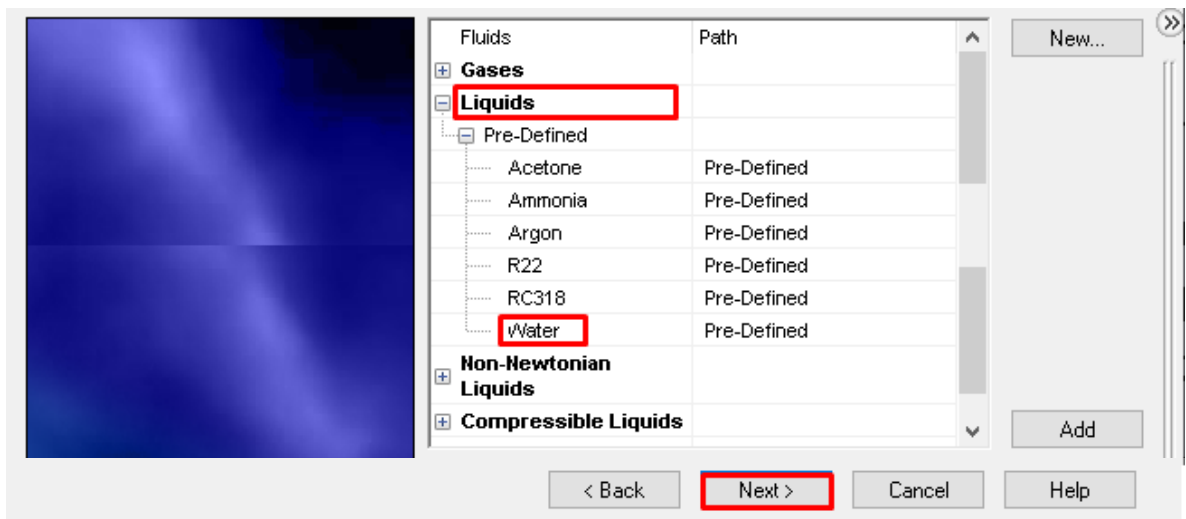
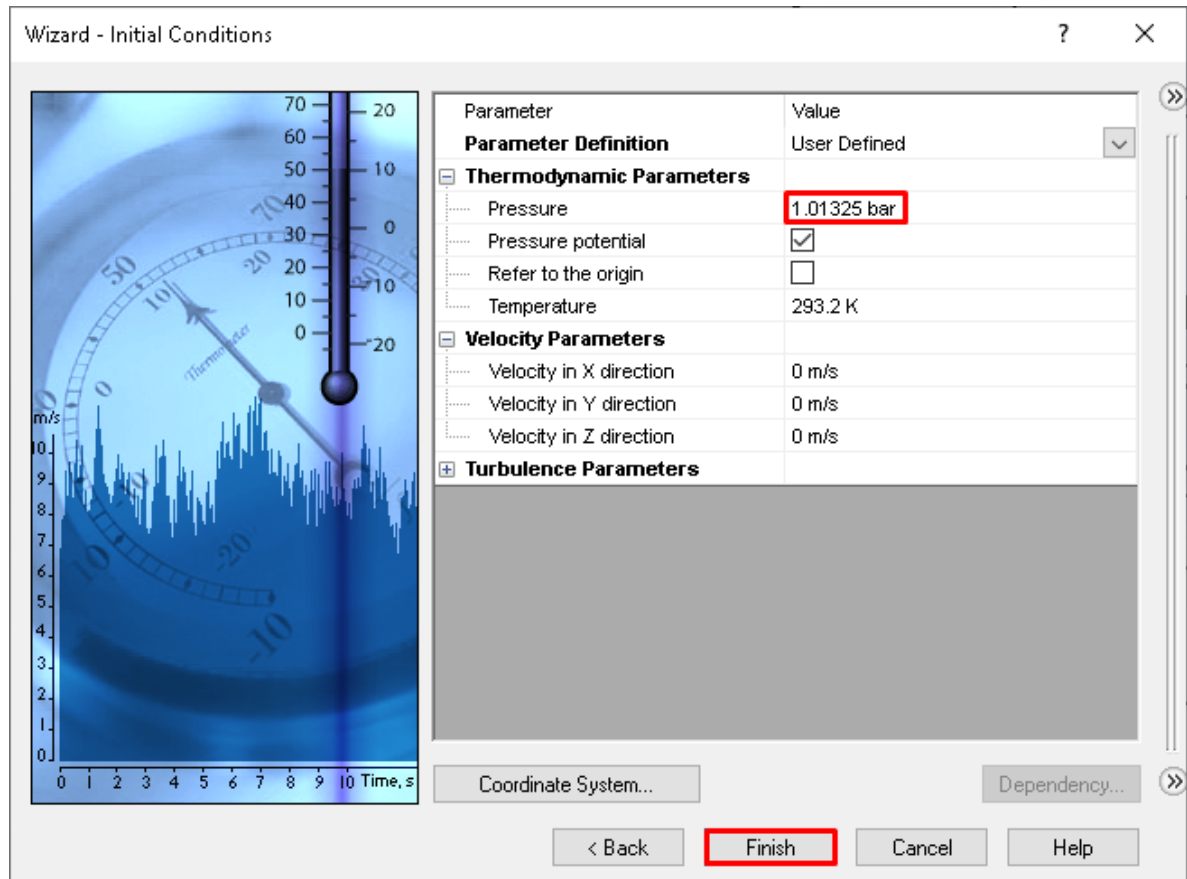


Figura M-5. Tipo de fluido en el Asistente de creación de proyectos.



--- **Condiciones iniciales.** En el menú desplegable *Thermodynamic parameters* se introduce el valor de la presión atmosférica en el municipio de Lebrija, Santander, localización del cultivo de guanábana.

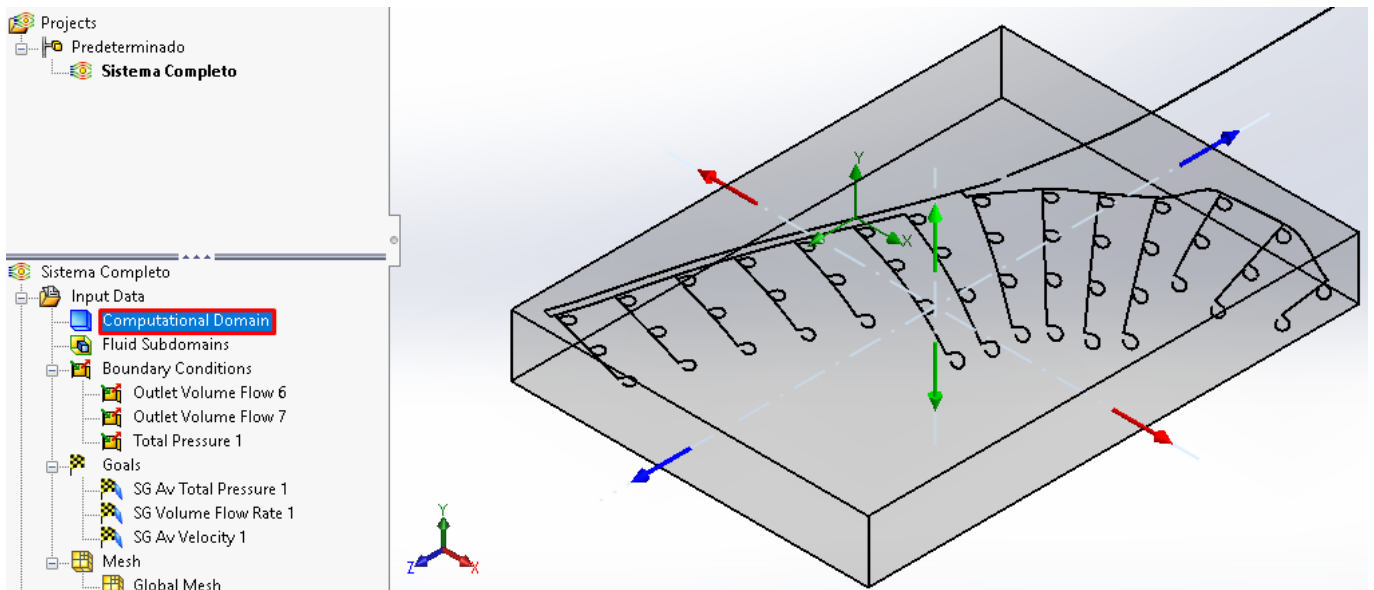
Figura M-6. *Condiciones iniciales* en el Asistente de creación de proyectos.



### M.3. Paso 3: Definir el Dominio del fluido.

La creación automática del dominio se realiza con la opción "Computational Domain" presente en el PropertyManager. Por defecto, se reconocen todos los modelos presentes en el ensamblaje; para ajustar a la región de interés (unidad de riego) se deben arrastrar las flechas en los límites del recuadro que representa gráficamente el dominio.

Figura M-7. Dominio del fluido en el Sistema de riego por goteo.



#### M.4. Paso 4: Definir el nivel de Mallado.

SolidWorks Flow Simulation cuenta con un mallador automático que solicita al usuario únicamente definir el nivel de detalle en la malla.

Debido a las grandes distancias de separación entre los componentes del sistema en comparación al tamaño de éstos, se define uno de los niveles de mallado más alto: 6 de 7, buscando mejorar la precisión en la simulación.

Para ajustar el nivel de mallado se debe seleccionar en el PropertyManager la opción *Mesh > Global Mesh > Edit definition* como se muestra en la Figura M-8.

#### M.5. Paso 5: Definir las Condiciones de frontera.

Se establecen las siguientes condiciones de frontera:

- Condición a la entrada: Se establece la entrada del fluido en el inicio de la tubería primaria a una presión de 0,924 [bar].
- Condición a la salida: El fluido va a salir por los goteros, por lo que se establecen 188 condiciones de salida a un caudal de 4 [L/h].

Para insertar las condiciones de frontera se debe seleccionar en el PropertyManager la opción *Boundary Conditions > Insert Boundary Conditions* como se muestra en la Figura M-9. Es

importante tener en cuenta que las superficies que se van a seleccionar para establecer condiciones de frontera deben ser superficies que estarán en contacto con el fluido durante la simulación.

Figura M-8. *Dominio del fluido* en el Sistema de riego por goteo.

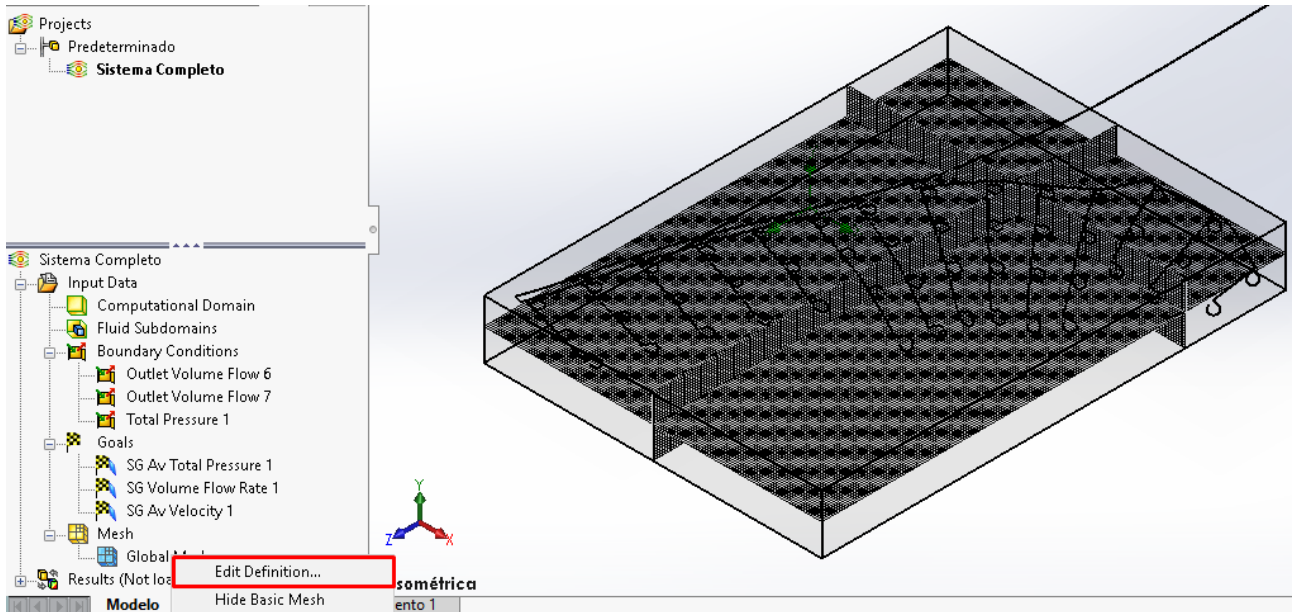
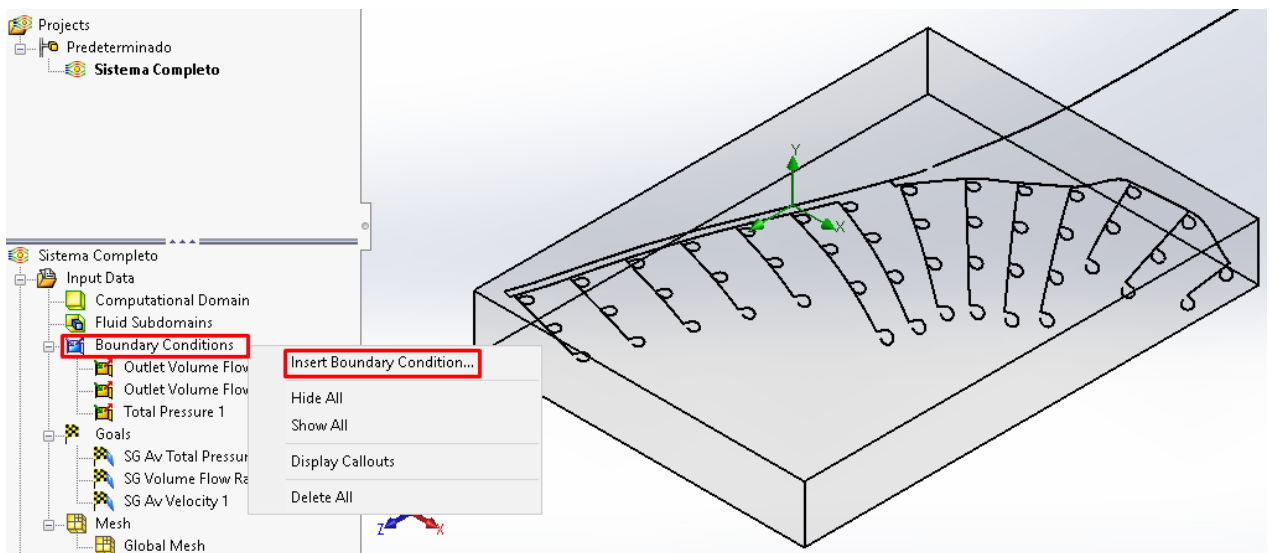


Figura M-9. *Condiciones de frontera* en el Sistema de riego por goteo.



## M.6. Paso 6: “Correr” la simulación.

El paso final es ejecutar el estudio de simulación configurado mediante la opción *Run* en la barra de herramientas de Flow Simulation.

Figura M-9. Opción *Run* para iniciar el estudio de simulación en el Sistema de riego por goteo.

