

Diseño de una Máquina que Emplea Sistemas Térmico-Mecánicos para la Remoción de Cascara
del Tomate

Luis Carlos López Mancilla

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Mecánico

Director

William Pinto Hernández

Dr. Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2019

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	17
1. Objetivos.....	18
1.1 Objetivo General	18
1.2 Objetivos Específicos.....	18
2. Marco teórico.....	19
2.1 El cultivo	19
2.2 El tomate	20
2.2.1 Partes del tomate.	21
2.2.2 Propiedades del tomate.	22
2.3 Reglamentación.....	25
2.4 El proceso de pelado del tomate.....	25
2.4.1 Pelado con cuchillo.	26
2.4.2 Pelado por escaldado.....	26
2.5 Planteamiento del problema	27
2.6 Justificación.....	28
3. Diseño Conceptual de la Máquina.....	30
3.1 Diagrama de flujo del proceso	30
3.2 Función de calidad	30
3.2.1 Requerimientos de la máquina.....	30
3.2.2 Criterios de diseño	31
3.3 Matriz QFD de la maquina.....	32
3.4 Matriz de calidad de los sistemas	33

3.4.1	Sistema de lavado.	33
3.4.2	Sistema de pelado.	34
3.4.3	Sistema de calentado.....	34
3.5	Alternativas	36
3.5.1	Sistema de lavado.	36
3.5.2	Sistema de calentamiento.....	38
3.5.3	Sistema de pelado	41
3.6	Evaluación de alternativas.....	43
3.7	Especificaciones obtenidas.....	44
4.	Cálculos y selección de equipos	44
4.1	Sistema de lavado.....	45
4.1.1	Cálculo de la tolva	45
4.1.2	Banda transportadora modular.....	47
4.1.1	Selección de boquillas.....	60
4.1.2	Instalación hidráulica	63
4.2	Sistema de herido	71
4.2.1	Tolva de unificación	72
4.2.2	Mecanismo de herido	73
4.2.3	Ejes mecanismo herido	75
4.2.4	Cálculo del resorte	75
4.3	Sistema de calentamiento	78
4.3.1	Consideraciones	78
4.3.2	Propiedades termofísicas	79
4.3.3	Análisis de transferencia de calor por métodos numéricos.....	85
4.3.4	Simulación de la temperatura del agua	105

4.3.5	Control de la resistencia.....	109
4.3.6	Montaje	110
4.4	Camino de rodillos vivos.....	111
4.4.1	Diseño y selección del rodillo.....	112
4.4.2	Diseño de correas.....	116
4.4.3	Cepillos de nylon	117
4.4.4	Selección de motor.....	118
4.4.5	Estructura camino de rodillos	121
4.5	Análisis económico	122
4.5.1	Costo de adquisición.....	123
4.5.2	Costo de operación.....	123
4.6	Resultados	126
5.	Conclusiones.....	128
	Referencias Bibliográficas	130

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Condiciones edafoclimatológicas.	20
Tabla 2. Volumen promedio de las distintas calidades.	23
Tabla 3. Dimensiones promedio de las distintas calidades.	24
Tabla 4. Peso promedio de las distintas calidades.	25
Tabla 5. Matriz QFD de la máquina	32
Tabla 6. Resultados Matriz QFD máquina	32
Tabla 7. Matriz QFD lavado	33
Tabla 8. Resultado matriz QFD lavado.....	33
Tabla 9. Matriz QFD pelado	34
Tabla 10. Resultado matriz QFD pelado.....	34
Tabla 11. Matriz QFD calentado	35
Tabla 12. Resultado matriz QFD calentado	35
Tabla 13. Evaluación de alternativas de lavado.....	43
Tabla 14. Evaluación de alternativas de pelado.....	43
Tabla 15. Evaluación de alternativas de calentado	43
Tabla 16. Cálculo de la Tolva	46
Tabla 17. Parámetros diseño banda transportadora	48
Tabla 18. Calculo motor banda modular.....	51
Tabla 19. Materiales bridas NTN.....	56
Tabla 20. Soporte acero inoxidable NTN	57
Tabla 21. Rodamiento acero inoxidable NTN	57
Tabla 22. Tamaños de eje para piñón Z10.....	59
Tabla 23. Calculo bomba centrifuga.....	65

Tabla 24. Calculo resorte mecanismo	76
Tabla 25. Conductividad térmica de los alimentos según composición y temperatura	80
Tabla 26. Calor específico de los alimentos según composición y temperatura	81
Tabla 27. Cálculo del coeficiente de convección del agua	84
Tabla 28. Dimensiones del alojamiento NTN.....	104
Tabla 29. Beneficios rodillos Serie 1200.....	113
Tabla 30. Datos técnicos rodillos Serie 1200.....	113
Tabla 31. Medidas del rodillo para eje de muelle	115
Tabla 32. Calculo motor camino de rodillos.....	119
Tabla 33. Presupuesto	123
Tabla 34. Consumos energéticos	124

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Producción de tomate en Colombia.....	19
Figura 2. Partes del tomate.....	21
Figura 3. Tomates para cálculo de propiedades.....	22
Figura 4. Medición del volumen.....	22
Figura 5. Medición de dimensiones.....	23
Figura 6. Medición de peso.....	24
Figura 7. Pelado de tomate manual.....	26
Figura 8. Escaldado Cocina abierta	27
Figura 9. Flujo del proceso	30
Figura 10. Veggie-Wash	36
Figura 11. Lavado con agua a presión	37
Figura 12. Ozono disuelto en agua	38
Figura 13. Calor por vapor.....	39
Figura 14. Agua en ebullición.....	40
Figura 15. Calentamiento por infrarrojo	40
Figura 16. Camino de rodillos	41
Figura 17. Centrifugadora de frutas y verduras	42
Figura 18. Lavadora de agua a presión	42
Figura 19. Disposición final de la maquina	45
Figura 20. Sistema de lavado	45
Figura 21. Tolva.....	46
Figura 22. Dimensiones de la tolva.....	47
Figura 23. Banda transportadora modular.	48

Figura 24. Banda transportadora modular serie 030A48 y piñon Z10	49
Figura 25. Distancia de bujes en la banda transportadora	50
Figura 26. CAD banda transportadora modular.....	50
Figura 27. Motorreductor para banda transportadora modular	52
Figura 28. Disposiciones de los rodamientos en el eje.	53
Figura 29. Eje banda transportadora modular.....	58
Figura 30. Dimensiones del eje banda modular.....	59
Figura 31. Estructura sistema de lavado	60
Figura 32. Aspersor para lavado	61
Figura 33. Formato del pedido de boquillas	62
Figura 34. Instalación hidráulica.....	63
Figura 35. Dimensionamiento del tanque de lavado.....	65
Figura 36. Curva característica	67
Figura 37. Simulación EPANET.....	68
Figura 38. Simulación EPANET calibrada.	69
Figura 39. Formato de solicitud de cotización de filtro	70
Figura 40. Sistema de herido	71
Figura 41. Tolva de unificación	72
Figura 42. Dimensionamiento de la tolva unificadora.....	73
Figura 43. Mecanismo de herido	73
Figura 44. Vista frontal mecanismo de herido.....	74
Figura 45. Dimensiones ejes mecanismo de herido.....	75
Figura 46. Resortes ASTM A227	75
Figura 47. Posición máximo y mínimo desplazamiento del resorte	76
Figura 48. Sistema de calentamiento	78

Figura 49. Variación de la conductividad con la temperatura	81
Figura 50. Variación del calor específico con la temperatura	82
Figura 51. Tipo de convección.....	83
Figura 52. Esquema de particiones del tomate.	87
Figura 53. SST Conduct, interfaz transitorio 1 dimensión	88
Figura 54. Resultado SST Conduct.....	88
Figura 55. Variación de la temperatura interna del tomate.....	89
Figura 56. Disposición de la cadena transportadora	91
Figura 57. Tina de escaldado	91
Figura 58. Vista frontal tina de escaldado	92
Figura 59. Vista lateral tina de escaldado	92
Figura 60. Cadena de arrastre	93
Figura 61. Trayectoria de la cadena de arrastre	94
Figura 62. Opciones de paso entre paletas.....	95
Figura 63. Lámina guía	97
Figura 64. Coeficiente de arrastre de una placa perpendicular al flujo	98
Figura 65. DCL tomate en escaldadora.....	99
Figura 66. Coeficiente f_1	101
Figura 67. Coeficiente f_2	102
Figura 68. Coeficiente f_3	102
Figura 69. Motorreductor para proceso de calentamiento	103
Figura 70. Eje cadena de arrastre	105
Figura 71. Dimensiones eje cadena de arrastre.....	105
Figura 72. Modelamiento interfaz SIMULINK	106
Figura 73. Modelamiento del problema.....	106

Figura 74. Programación bloque balance de energía	107
Figura 75. Programación bloque de control On-Off	107
Figura 76. Variación de la temperatura del agua	108
Figura 77. Puesta a punto de la escaldadora	109
Figura 78. Diagrama de conexión control on-off.....	110
Figura 79. Proceso de escaldado	110
Figura 80. Camino de rodillos vivos.....	111
Figura 81. Disposición de los tomates de ambas calidades en los rodillos.....	112
Figura 82. Versiones de rodillos	114
Figura 83. Rodillo	116
Figura 84. Correa redonda calibre 6 mm	117
Figura 85. Dimensiones cepillo nylon	118
Figura 86. DCL tomate	118
Figura 87. DCL simplificado	119
Figura 88. Motorreductor camino de rodillos	120
Figura 89. Estructura camino de rodillos.....	121
Figura 90. Vista frontal estructura camino de rodillos	121
Figura 91. Disposición de los rodillos	122

Lista de Apéndices

(Ver apéndices adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS.)

Apéndice 1. Composición nutricional del tomate

Apéndice 2. Datos medidos para tomate de primera calidad.

Apéndice 3. Datos medidos para tomate segunda calidad.

Apéndice 4. Artículo 9. Condiciones específicas

Apéndice 5. Artículo 18. Fabricación.

Apéndice 6. Banda modular PLADESAN.

Apéndice 7. Cotización pladesan.

Apéndice 8. Motor banda modular WA20DR63L6 SEW.

Apéndice 9. Cotización BANDAS Y CADENAS S.A.S.

Apéndice 10. Desempeño boquillas FullJet.

Apéndice 11. Dimensiones de boquillas estándar.

Apéndice 12. Materiales boquillas de aspersión.

Apéndice 13. Impacto por pulgada cuadrada.

Apéndice 14. Cotización SPRAY.

Apéndice 15. Bomba centrífuga IHM 1.1/2A-1.5MW.

Apéndice 16. Calibración de el sistema de bombeo.

Apéndice 17. Cotización accesorios sistema de lavado.

Apéndice 18. Tamaños de filtros SPRAY.

Apéndice 19. Perdidas en filtro.

Apéndice 20. Piñón cadena de arrastre Z6.

Apéndice 21. Eslabón cadena de arrastre.

Apéndice 22. Motor escaldado SA47R17DR63S4 SEW.

Apéndice 23. Cotización resistencias eléctricas.

Apéndice 24. Cotización control resistencias.

Apéndice 25. Cepillos de nylon.

Apéndice 26. Motor camino de rodillos S37DR63S2 SEW.

Apéndice 27. Cotización construcción SIMM S.A.S.

Apéndice 28. Cotización SEW.

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO DE UNA MÁQUINA QUE EMPLEA SISTEMAS TÉRMICO-MECÁNICOS PARA LA REMOCIÓN DE CASCARA DEL TOMATE. *

AUTOR:

Luis Carlos López Mancilla**

PALABRAS CLAVES:

Pelado, Tomate, Maquina

DESCRIPCION:

La automatización en los procesos de remoción de cascara del tomate es indispensable para la industria de salsas y conservas, en este trabajo de grado se plantea diseñar una máquina que sea capaz de procesar una demanda de 75 Kg/h de tomate fresco.

El objetivo de la maquina es preparar la fruta para poder disponer de ella en distintas preparaciones y formas, esto quiere decir que al final del procesamiento hecho por la maquina no se tendrá un producto terminado para venta al público general.

Se contarán con distintos sistemas los cuales aporten para lograr el objetivo, inicialmente se tendrá una fase de lavado por aspersión seguido por un mecanismo que hiera la piel del tomate, posteriormente se usará el principio de escaldado para desprender la piel y finalmente el uso de un camino de rodillos vivos para generar fricción y remover la cascara.

La máquina fue diseñada con la ayuda de software CAD y distintos programas de simulación los cuales evidenciaron la veracidad de los resultados, finalmente se realizó una estimación del precio de construcción, el valor de operación y una proyección de recuperación de la inversión, estos análisis se hicieron en base a productos del comercio local en la ciudad de Bucaramanga, Colombia.

*Trabajo de Grado.

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Director: William Pinto Hernández, D.sc. Ingeniería Mecánica.

SUMMARY

TITLE:

DESIGN OF A MACHINE THAT USES THERMAL-MECHANICAL SYSTEMS FOR TOMATO SKIN REMOVAL*

AUTHOR:

Luis Carlos López Mancilla**

KEY WORDS:

Peel, Tomato, Machine

DESCRIPTION:

The automatization on the skin peeling process has a high grade of importance for the sauce and preserved food industry, this dissertation project proposes to design a machine capable of fulfill the process under an initial condition of 75 kg/h.

The main objective of the machine is to prepare the fruit so it can be disposed in different shapes and preparations, this means that in the end of the processing line of this machine it will not be a finished product ready for sale to the consumer.

There will be several systems which will work together to reach the objective, in a first moment there will exist a rinse stage made by spray nozzles, followed by a shallow cut mechanism, after that the principle of scalding will be used to detach the skin, finally a roller path will be used to create friction forces pulling apart the pill.

The machine was designed using CAD software and different programs to simulate the behavior of the systems which revealed a satisfactory result, at the end of the project an operational and construction economic analysis is revealed, finalizing with an estimation of the time needed to recover the investment, this analysis were made based on products from the commerce in Bucaramanga, Colombia.

*Bachelor Thesis.

**Physical-Mechanical sciences faculty. Mechanical engineering school. Director: William Pinto Hernández, D.Sc. Mechanical engineering.

Introducción

El tomate es considerado como la hortaliza más consumida en Colombia principalmente por la gran cantidad de recetas que requieren de esta fuente de alimento (Cámara de Comercio de Bogotá CCB, 2015), adicionalmente posee propiedades nutricionales como vitaminas, minerales y antioxidantes las cuales hacen que este sea atractivo para las personas que cuidan su alimentación.

Existe también el punto de vista del productor, el cual presupuesta un periodo de 6 meses desde el día de la plantación hasta el de recolecta del ultimo tomate para hacer un ejercicio que genere lucro, al comenzar la cosecha el productor se enfrenta con una situación similar a la que se genera con los negociadores de divisas, el constante cambio de precios no da certeza de si este proyecto va a ser bueno y generar lucro o por el contrario este representará una pérdida de tiempo y hasta algunas veces a generar pérdidas monetarias, este problema surge por el principio de la oferta y la demanda del producto en el comercio.

La industria de la agricultura está directamente relacionada con la industria de salsas y conservas, estas empresas son un gran aliado para los campesinos una vez ellos tienen fijada una producción constante todo el año pueden entrar a negociar y a proveer materia prima ganando un poco de estabilidad en sus precios pues ahora el precio dependerá del contrato que hayan pactado.

Como propósito de este proyecto se propondrá el diseño de una máquina que sirva como alternativa a los campesinos que usualmente enfrentan la problemática del precio volátil, favoreciendo a los pequeños y medianos productores al agregarle valor comercial a sus productos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar y modelar una maquina con el fin de remover la cascara al tomate de primera y de segunda clase utilizando sistemas de procesamiento mecánicos y térmicos para obtener pulpa de tomate para una demanda de 75kg/h, contribuyendo a la misión de la universidad de crear soluciones de alta calidad tecnológica para propios y del entorno.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar las variables de diseño de los sistemas que conforman la máquina para una producción de 75 kg/Hora de tomate.

Seleccionar y diseñar la configuración de los modelos que cumplan con los requerimientos estableciendo un análisis económico.

Simular computacionalmente el sistema de calentamiento en ambiente Simulink de MATLAB con el fin de establecer el esquema de calentamiento y condiciones de consumo energético.

2. Marco teórico

2.1 El cultivo

El crecimiento continuo de la población influye directamente en el factor más determinante de una sociedad en cuestión de subsistencia el cual es la disponibilidad de recursos alimenticios, esto hace que se genere una demanda continua y cada vez mayor, el consumo per cápita de tomate en Colombia se calcula entre 11 y 12 kg/año (Chacon, 2013), es por esto que la industria alimenticia es tan productiva, porque al ser una necesidad básica creciente se garantiza un público también creciente.

Para Colombia la industria tomatera ha crecido en cantidad de hectáreas cultivadas y en toneladas de tomate, como se refleja en la figura 1 la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019) estima que en los años 2016 al 2017 aumentó su producción pasando de cultivarse 690.515 toneladas en 2016 a 714.314 en 2017 (aumento de 3.5%), así fue también en años anteriores a 2016 convirtiéndolo en la hortaliza más cosechada y en uno de los productos agrícolas favoritos por la versatilidad que ofrece en las diversas preparaciones.

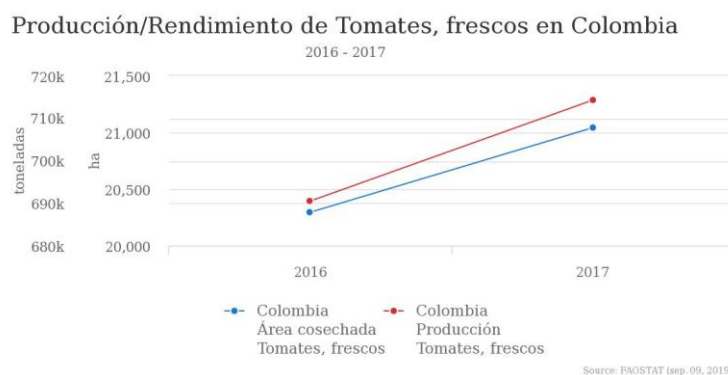


Figura 1. FAO. (2019). Producción de tomate en Colombia. Retrieved from Organización de las naciones unidas para alimentación y agricultura website: <http://www.fao.org/faostat/>

2.2 El tomate

Cuyo nombre científico es *Solanum lycopersicum*, en Colombia es común encontrarse principalmente con 3 tipos, el chonto que usualmente es el que se usa para cocinar, el milano que por su gran tamaño es usado en hamburguesas o ensaladas y el cherry que por su pequeño tamaño es usado en platos gourmet, en este trabajo se buscara estudiar el tomate chonto ya que es el más común en la región.

Chacón refiere en su tesis que las condiciones edafoclimatológicas juegan un papel importante en el fruto a cultivar ya que hará que la planta sienta menos estrés y por consiguiente se refleje en una cosecha con mejores características, algunas de las condiciones óptimas se ven a continuación.

Tabla 1. *Condiciones edafoclimatológicas.*

CONDICIONES	MAGNITUD
Altura sobre el nivel del mar	0 y 1500 m.s.n.m
Temperatura	15 y 25°C
Humedad relativa	60 y 85%
Requerimiento hídrico	1500 y 2500 mm/año
Ph	6 y 7

Nota: Adaptado de Chacón, M. E. (2013). Efectos sobre el ambiente del cultivo de tomate de mesa larga vida variedad bonarda bajo condiciones controladas de invernadero- P.21.

A partir de estas características se concluye que Colombia es privilegiada ya que cuenta con extensiones de tierra en donde el tomate se da todo el año sin necesidad de detener su producción por cambios de estaciones.

2.2.1 **Partes del tomate.** Esta fruta se caracteriza por su gran cantidad de agua, según la fundación española de nutrición por cada 100 gramos de tomate 94 gramos son agua (ver apéndice 1), como se aprecia en la figura 2 en su interior se encuentra repartida en la carne mesocarpio y en los lóculos (endocarpio).

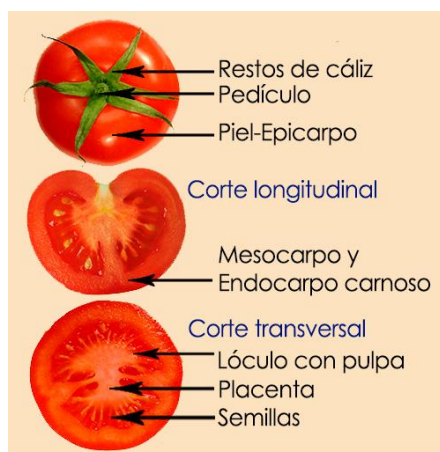


Figura 2. Plantae Garden. (2019). Partes del tomate. Retrieved from El cultivo de tomate en Murcia website: <https://plantae.garden/el-cultivo-del-tomate-en-murcia/>

2.2.1.1 **Piel.** También llamado epicarpio o exocarpio, es la capa más externa de la fruta y corresponde a la cascara cuya función principal es proteger el fruto, en el caso del tomate el epicarpio es liso y está constituido por ceras, una pared celular y una membrana plasmática.

2.2.1.2 **Mesocarpio.** Es la parte comestible del fruto, se define como la capa intermedia entre el endocarpio y la piel, en el caso del tomate es consistencia carnosa.

2.2.1.3 **Endocarpio.** Capa que envuelve a las semillas.

2.2.1.4 **Lóculo.** Cavidades que contienen las semillas, son formados a partir de pliegues de tejido.

2.2.1.5 **Semilla.** Es la encargada de generar nueva vida.

2.2.2 **Propiedades del tomate.** El tomate utilizado como referencia para este proyecto proviene de la vereda pescaderito alto en el municipio de Curití, se realizó una medición del tamaño, del peso y del volumen del tomate que es cosechado en este lugar y donde se tomaron 20 ejemplares de cada calidad como se ven en la figura 3, se calculó un promedio para posteriormente poder hacer los cálculos pertinentes de flujo de materia prima que va a ser procesada. (ver apéndice 2 y 3).



Figura 3. Tomates para cálculo de propiedades

2.2.2.1 **Volumen promedio:** Se calculó usando el principio de Arquímedes como se observa en la figura 4, introduciendo uno a la vez los tomates de primera y de segunda calidad en agua, tomando como valor base 250 ml de agua y midiendo el volumen de líquido desalojado.



Figura 4. Medición del volumen

Se determinaron los siguientes datos promedio.

Tabla 2.

Volumen promedio de las distintas calidades.

Volumen Promedio [ml]	
Primera Calidad	181
Segunda Calidad	54.5

Volumen promedio entre promedios de ambas calidades: $Vp = \frac{181+54.5}{2}$

$$Vp = 117.75 [ml]$$

2.2.2.2 Dimensiones: Se tomaron dos medidas, una longitudinal y otra transversal utilizando un calibrador vernier, esto se ve representado en la figura 5.

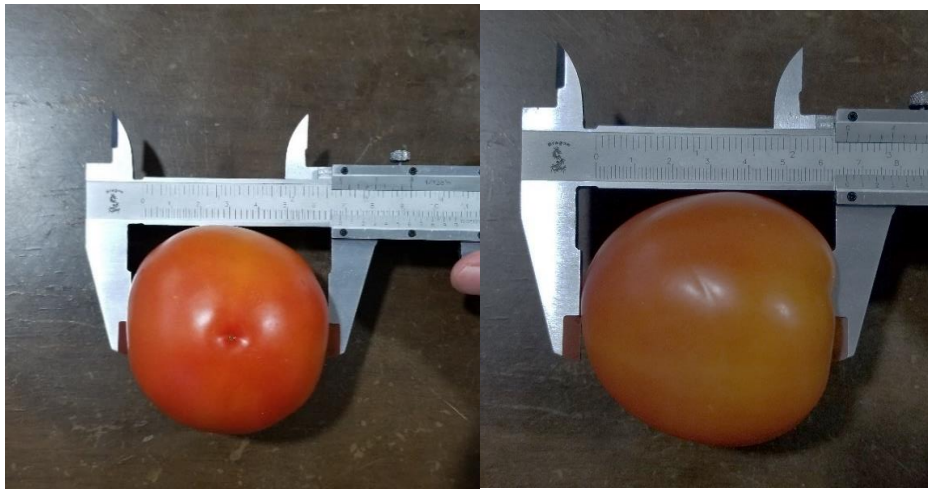


Figura 5. Medición de dimensiones

Se determinaron los siguientes datos promedio.

Tabla 3.

Dimensiones promedio de las distintas calidades.

	Sección Longitudinal [mm]	Sección Transversal [mm]	Diámetro Promedio [mm]
Primera Calidad	70.75	62.3	66.53
Segunda Calidad	45.9	43.55	44.73

Diámetro promedio entre promedios de ambas calidades: $Dp = \frac{66.53 + 44.73}{2}$

$$Dp = 55.6 \text{ [mm]}$$

2.2.2.3 *Peso:* Se hizo uso de una gramera para obtener el peso de los tomates, esto se ve representado en la figura 6.

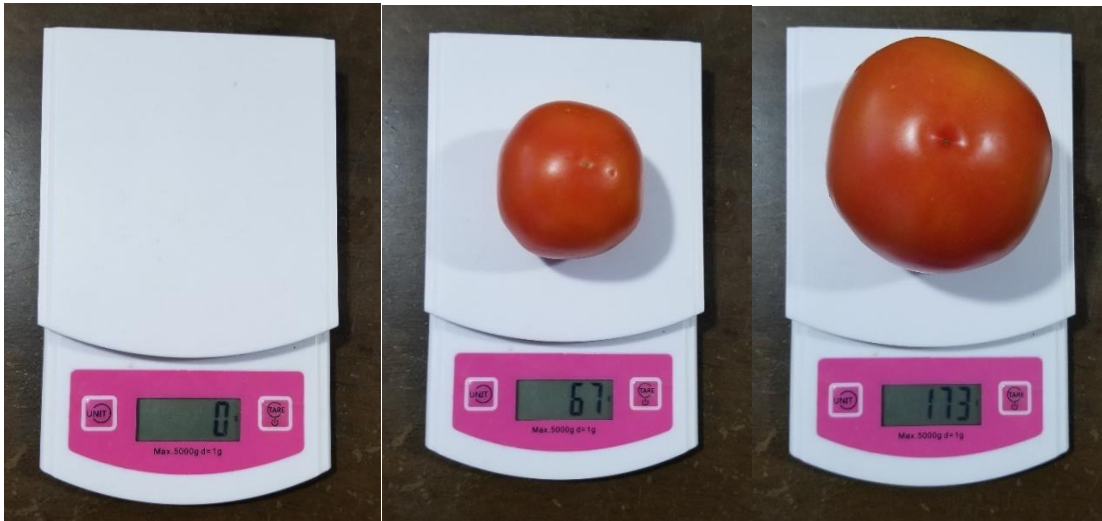


Figura 6. Medición de peso

Se determinaron los siguientes valores promedio.

Tabla 4.

Peso promedio de las distintas calidades.

	Peso [g]
Primera Calidad	176.3
Segunda Calidad	54.15

Peso promedio entre promedios de ambas calidades: $Pp = \frac{176.3+54.15}{2}$

$$Pp = 115.22 [g]$$

2.3 Reglamentación

La resolución 2674 de 2013 normaliza todo lo relacionado con la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento y comercialización de alimentos, actualizando la ley 09 de 1979, de este decreto es importante para este proyecto tener claridad en los artículos 9 y 18 (ver apéndice 4 y 5) ya que se habla de las condiciones específicas de equipos y utensilios para el procesamiento de alimentos junto con las operaciones de fabricación.

Asimismo, en el artículo 38 de la ley 09 de 1979 presenta a la industria de procesamiento de tomate como de bajo riesgo epidemiológico y será necesario aplicar para obtener una licencia sanitaria clase I que concede el ministerio de salud colombiano por un periodo de 5 años para poder operar con legalidad.

2.4 El proceso de pelado del tomate

Cuando se desea pelar un tomate en el hogar existen dos opciones que son las más usadas.

2.4.1 **Pelado con cuchillo.** Este tipo de pelado no resulta ser una tarea agradable ya que requiere de cierta destreza para manejar el cuchillo, adicionalmente, se pierde gran cantidad de pulpa y tiempo; el proceso consiste en sostener el tomate con una mano y con la otra sostener el cuchillo como se muestra en la figura 7 e ir cortando la parte más externa del tomate. Cabe mencionar que la fuerza que realiza el corte proviene del dedo pulgar el cual empuja el tomate hacia el cuchillo.



Figura 7. FRAME POOL. (2019). Pelado de tomate manual. Retrieved from pelado de tomate website: <https://footage.framepool.com/es/shot/873302652-pelar-cocina-de-restaurantetomate-vegetales-cocinero>.

2.4.2 **Pelado por escaldado.** Es una manera más practica que el pelado manual ya que no requiere de grandes habilidades para realizar el pelado, consiste en poner a hervir agua, herir el tomate en forma de cruz para que la piel se desprenda por allí, introducir el tomate en el agua en ebullición y mantenerle por 30-40 segundos y finalmente como se ve en la figura 8 remover la cascara con la mano.



Figura 8. COCINA ABIERTA. (n.d.). Escaldado. Retrieved from Escaldado de tomate website: <https://www.hogarmania.com/cocina/escuela-cocina/tecnicas/201109/escaldar-tomate-11724.html>

2.5 Planteamiento del problema

El tomate es una fruta nativa de Centro y Sur América, que a lo largo de la historia y gracias a su gran aporte nutricional ha sido parte fundamental en la cocina colombiana e internacional. El tomate es de fácil comercialización gracias a aspectos como su ciclo corto de vida que es aproximadamente 6 meses (Chacon, 2013). El departamento del Norte de Santander lidera la producción nacional participando con el 29% del total, seguido de Antioquia con 11,4%, Boyacá con 11,3%, Santander con 10,4% y Cundinamarca con el 6,5% (Agronet, 2015).

Un punto clave en la producción del tomate y uno de los pilares de este proyecto es: ¿qué se puede hacer con el tomate al estar condicionado a un periodo de vida corto?, para desarrollar esta incógnita hay que tener presente que la cosecha del tomate se da entre 90 y 120 días después de la siembra, teniendo en cuenta que a medida que se acerca más a los 120 días cuenta con un mayor tiempo de maduración pasando de verde a rojo, a diferencia de un tomate que es retirado de la planta cerca de los 90 días el cual se encuentra verde. Una vez pasados los 120 días, el tomate empezará a descomponerse, trayendo como consecuencia la pérdida total del producto. Debido a esta situación, la primera alternativa que se tiene es vender el tomate en centrales de abasto, tiendas

o supermercados, pero esta opción no siempre es lucrativa debido a las constantes alzas y bajas de precio en el mercado; el precio del tomate puede variar y en muchos casos no se consiguen ganancias económicas de la actividad, sino que por el contrario se generan pérdidas, esto, debido más que nada a la oferta de tomate fresco en el mercado.

De conformidad con lo expuesto anteriormente, se buscará establecer una alternativa a vender el tomate fresco a precios aleatorios, en la cual se pueda procesar el fruto y realizar como primera medida el descascarado de la fruta para obtener la pulpa, posteriormente, aunque no formará parte de este proyecto se podrá procesar a disposición como pasta de tomate u otros procesos generando un valor agregado al producto y asegurando la estabilidad del precio.

2.6 Justificación

Existen distintos tipos de calidades de tomate dependiendo de su peso y por consiguiente su tamaño, el tomate de primera clase es el que sale a comienzos de cosecha, alrededor de los 3 meses y va hasta los 4 meses y medio, algunas veces hasta los 5, esta primera clase se distingue por ser un tomate grande, con un color definido y tener un peso de más de 70 gr y la segunda clase es un tomate más pequeño que va hasta los 60 gr siendo este el tomate que se da al final de la cosecha, esto juega un papel importante en el precio de cada canastilla.

Un ejemplo de esto a precio del día 23/04/2019 donde el tomate en centro abastos Bucaramanga es cotizado a \$40.000 por cada canastilla de 25 Kg de tomate de primera, mientras que el mismo peso pero en calidad de segunda se vende en \$13.000, aproximadamente la tercera parte del precio de uno de primera, este tomate de segunda representa en muchos casos una pérdida de dinero y usualmente cuando el precio del tomate está por debajo de los \$25.000 por canastilla de primera clase este tomate de segunda no es recogido sino desechado ya que su precio no alcanza para cubrir

los costos de transporte del producto, alimentación y salario del personal, usualmente cuando pasa la situación anteriormente descrita se opta por regalar este tomate pequeño a quien sea que quiera recogerlo.

Dicho esto, se propone diseñar una máquina para que procese no solo este tomate de segunda calidad que se consigue a un precio muy económico en la vereda pescaderito alto del municipio de Curití en Santander, la cual es una de las mayores productoras de tomate de la región guanentina y donde se asegura una producción continua todo el año. Adicionalmente, en épocas donde el tomate de primera calidad tenga un precio bajo sea conjuntamente procesado y con esto tener una alternativa distinta a vender el tomate en centros de abasto aun precio que no genere lucro de la actividad.

Implementar un sistema de pelado de tomate se presenta como una solución para aprovechar la totalidad del cultivo para su posterior comercialización y con esto maximizar las ganancias obtenidas al realizar la actividad de cosecha ya que se estará rescatando una parte de la producción que se da por perdida. De este modo el desarrollo de este proyecto permitirá ahorrar recursos humanos para ejecutar esta actividad de obtención de pulpa.

Se buscará a través de este proyecto, agregarle valor a una actividad que el gobierno está apoyando con incentivos económicos como lo es la agricultura a través de planes como finagro y que a futuro podrá convertirse en una planta procesadora de tomate completa, no solo como lo es la etapa de pelado la cual se va a tratar en este proyecto.

3. Diseño Conceptual de la Máquina

3.1 Diagrama de flujo del proceso

Acorde con el proyecto se preestablece en la figura 9 el orden de los procesos que se llevarán a cabo.

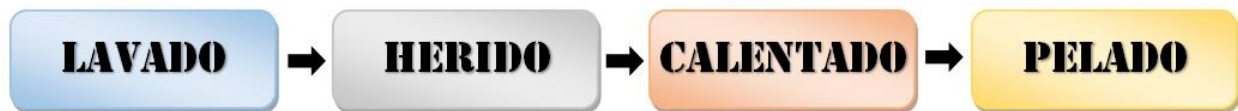


Figura 9. Flujo del proceso

3.2 Función de calidad

Se procede a analizar las necesidades y expectativas de la máquina para que estas se adapten a las del objetivo general.

3.2.1 Requerimientos de la máquina.

- ✓ Normativa sanitaria
- ✓ Precisión en la operación
- ✓ Fácil mantenibilidad
- ✓ Económico de construir
- ✓ Adaptabilidad a distintos tamaños de tomate
- ✓ Precio de operación bajo
- ✓ Tamaño optimo

3.2.2 **Criterios de diseño.** La línea de procesamiento se dividirá en 5 subsistemas para facilitar el análisis de sus componentes, los cuales son:

3.2.2.1 **Sistema de lavado.** Es la parte inicial del proceso, la función de este sistema es limpiar la materia prima y en ella se remueven objetos extraños a la fruta como tierra, hojas, agentes químicos o insectos.

3.2.2.2 **Sistema de herido.** Este sistema nace de la necesidad de que el tomate rompa su piel de una forma predecible al momento de adicionarle calor, sirve como guía para el sistema de pelado.

3.2.2.3 **Sistema de calentamiento.** En este sistema se adiciona calor a la fruta por unos segundos logrando que el exocarpio se desprenda del mesocarpio.

3.2.2.4 **Sistema de pelado.** Es la fase final del proceso, se enfoca en la remoción de cascara del tomate, se realiza mediante elementos mecánicos los cuales generan una fuerza sobre la superficie de la fruta haciendo deslizar la piel del fruto.

3.2.2.5 **Sistema de transporte.** Como su nombre lo indica es el sistema que hace que el tomate pase por todas las etapas de la máquina, también es el encargado de coordinar desplazamientos y tiempos para hacer cumplir la demanda requerida.

3.3 Matriz QFD de la maquina

Se analiza la influencia de cada sistema como individual con respecto a la importancia que represente para la máquina, haciendo una evaluación de 0 a 9 sobre cada ítem, siendo 0 no importante y 9 muy importante.

Tabla 5.
Matriz QFD de la máquina

MAQUINA	Valor	Sistema de Lavado		Sistema de pelado		Sistema de transporte		Sistema de herido		Sistema de calentamiento	
Norma sanitaria	9	10	90	10	90	10	90	10	90	10	90
Mantenibilidad	6	2	12	4	24	4	30	2	12	3	18
Precio de construcción	6	5	30	6	36	5	30	2	12	4	24
Precio de operación	7	6	42	5	35	3	21	1	7	5	35
Adaptabilidad	8	4	32	4	32	3	24	3	24	6	48
Precisión	6	7	42	7	42	6	36	4	24	7	42
Tamaño	5	5	25	5	25	4	20	3	15	5	25
TOTAL			<u>273</u>		<u>284</u>		251		184		<u>282</u>

Con el total de puntos de los 3 sistemas más importantes se estima el porcentaje de importancia de cada uno.

Tabla 6.
Resultados Matriz QFD máquina

839	Sistema	Porcentaje
261	Lavado	31.1 %
291	Pelado	34.7 %
282	Calentado	33.6 %

De los datos obtenidos en la tabla 6 se concluye que en definitiva los tres subsistemas presentan un similar nivel de importancia para la máquina puesto que el porcentaje de inferencia sobre la maquina diverge muy poco, aun así, el que requiere más atención es el de pelado.

3.4 Matriz de calidad de los sistemas

3.4.1 **Sistema de lavado.** Se evaluarán factores tales como el tiempo de lavado, cantidad de agua necesaria, eficiencia del lavado que se ve reflejada en que tan bien se limpia la fruta y su impacto ambiental.

Tabla 7.
Matriz QFD lavado

LAVADO	Valor	Tiempo de lavado	Cantidad de agua	Eficiencia del lavado	Impacto ambiental				
Norma sanitaria	9	7	63	9	81	9	81	10	90
Mantenibilidad	6	2	12	7	42	4	24	4	24
Precio de construcción	6	6	36	8	48	9	54	8	48
Precio de operación	7	9	63	8	56	8	56	8	56
Adaptabilidad	8	6	48	7	56	8	64	0	0
Precisión	6	8	48	7	42	7	42	0	0
Tamaño	5	8	40	6	30	7	35	0	0
TOTAL			310		355		356		218

De los factores evaluados en la tabla 7 se tomarán los principales para hallar el orden de importancia para el sistema, los cuales están planteados en la tabla 8.

Tabla 8.
Resultado matriz QFD lavado

1021	Parámetro	Porcentaje
310	Tiempo de lavado	30.4 %
355	Cantidad de agua	34.8 %
356	Eficiencia del lavado	34.9 %

3.4.2 **Sistema de pelado.** Se evaluarán factores tales como la rapidez de ejecución, la facilidad con la que se realiza el proceso, la calidad del resultado del pelado y la capacidad de adaptarse a distintos tamaños de tomate.

Tabla 9.
Matriz QFD pelado

PELADO	Valor		Rapidez		Facilidad		Calidad		Capacidad de adaptación
Norma sanitaria	9	0	0	3	27	9	81	8	72
Mantenibilidad	6	6	36	8	48	7	42	6	36
Precio de construcción	6	6	36	5	30	7	42	7	42
Precio de operación	7	5	35	2	14	8	56	5	35
Adaptabilidad	8	7	56	4	32	8	64	9	72
Precisión	6	8	48	4	24	8	48	8	48
Tamaño	5	7	35	5	25	6	30	7	35
	TOTAL		246		200		363		340

De los factores evaluados en la tabla 9 se tomarán los principales para hallar el orden de importancia para el sistema, los cuales están planteados en la tabla 10.

Tabla 10.
Resultado matriz QFD pelado

949	Parámetro	Porcentaje
246	Rapidez	25.9 %
363	Calidad	38.3 %
340	Adaptación	35.8 %

3.4.3 **Sistema de calentado.** Se evaluarán factores tales como velocidad de transferencia de calor, la temperatura necesaria para el proceso, el espacio necesario para llevar a cabo el proceso y el costo energético necesario para operar.

Tabla 11.

Matriz QFD calentado

CALENTADO	Valor	Velocidad de transferencia de calor		Temperatura		Espacio necesario		Costo energético	
Norma sanitaria	9	6	54	6	54	4	36	5	45
Mantenibilidad	6	3	18	5	30	8	48	3	18
Precio de construcción	6	5	30	7	42	8	48	8	48
Precio de operación	7	7	49	7	49	8	56	9	63
Adaptabilidad	8	7	56	8	64	2	16	6	48
Precisión	6	4	24	7	42	4	24	3	18
Tamaño	5	6	30	7	35	6	30	7	35
TOTAL			<u>261</u>		<u>316</u>		<u>258</u>		<u>275</u>

De los anteriores factores evaluados se tomarán los principales para hallar el orden de importancia para el sistema los cuales están planteados en la tabla 12.

Tabla 12.

Resultado matriz QFD calentado

852	Parámetro	Porcentaje
261	Velocidad de T.C.	30.6 %
316	Temperatura	37.1 %
275	Costo energético	32.3 %

3.5 Alternativas

3.5.1 Sistema de lavado. El sistema de lavado es fundamental ya que es la etapa primaria del proceso y debe ser hecho con debido cuidado pues se estarán tratando alimentos, existen institutos como el INVIMA destinados a velar por el correcto manejo y hacer un mal uso de ellos se traduce en sanciones y multas. El artículo 26 de la resolución 15790 de 1980 establece que las características para producir derivados del tomate deben tener las siguientes características: “estar bajo condiciones sanitarias, de tomates maduros frescos, sanos, cuidadosamente lavados, desprovistos mediante corte de cualquier parte defectuosa y prácticamente libre de residuos de plaguicidas u otras sustancias eventualmente nocivas”.

3.5.1.1 Inmersión. Algunas veces los pesticidas y otros químicos agroindustriales son diseñados para tener la función de resistir al agua y con esto perdurar más en la fruta con la intención de ahorrar costos en lo que podrían ser múltiples sesiones de riego de pesticidas, lo que propone el veggie-wash es una inmersión de la fruta en una solución acuosa a una determinada concentración del líquido limpiador que retira efectivamente tanto las bacterias como los agentes químicos que se usan en la fase de cultivo, se deja actuar por 30 segundos y la fruta quedara limpia.



Figura 10. REGAL. (n.d.). Veggie-Wash. Retrieved December 6, 2019, from Veggie-Wash website: www.veggie-wash.com

El veggie wash como se ve en la figura 10 viene en forma líquida concentrada, se usan distintas tablas para seleccionar el grado de concentración ideal según el tipo de vegetal y la cantidad de los mismos, simplemente se deja actuar por unos segundos y se retira la fruta del tanque.

3.5.1.2 Lavado con agua a presión. Como se aprecia en la figura 11 este método consiste en hacer pasar la fruta a través de duchas de agua a presión, esta puede ser con una cantidad de detergente o no, se remueven las partículas grandes que pueda tener el tomate como hojas, tierra, insectos o cualquier otra cosa que no corresponda a la fruta, este proceso remueve eficientemente la suciedad y la arrastra con el agua hacia una salida lo cual evita que se vuelva a contaminar, los factores más importantes para este tipo de lavado es la presión y la temperatura del agua y la existencia o ausencia de ceras o detergente disuelto en agua.



Figura 11. HIDACAM. (n.d.). Lavado con agua a presión. Retrieved December 6, 2019, from Maquina lavadora website: www.hidacamingenieros.com/lavadora-de-frutas-naranjas

Este es el método más común, usualmente va acompañado de un lavado con unos cepillos de nylon en rotación, los resultados obtenidos son de gran calidad tanto visual como de control de hongos y microorganismos.

3.5.1.3 Ozono. El ozono brinda una vida más larga al tomate al endurecer su piel y evitar la aparición de mohos, el lavado con ozono comparado a uno tradicional genera una reducción de los microbios en el área superficial de la fruta, este puede ser suministrado disuelto en agua o de forma indirecta.

Un ejemplo de esto es la aspersión con agua ozonizada que a una concentración de 2ppm en tan solo 30 segundos logra reducir en 99% la bacteria “S. typhimurium” la cual es una de las más comunes en tomates; los vegetales y frutas se deterioran debido a la contaminación por hongos esta es la forma más común de contaminación microbiana pues al estar en contacto con otros se facilita la transferencia de hongos que se propagan a medida que el tiempo de almacenamiento se extiende.



Figura 12. INTER-OZONO. (n.d.). Ozono disuelto en agua. Retrieved December 6, 2019, from desinfección sin químicos website: www.interozono.es/desinfeccion-lavado-frutas-verduras-ozono-2/

En la figura 12 se da un ejemplo de ozonificación indirecta con agua a 2 ppm de ozono a través del uso de aspersores.

3.5.2 Sistema de calentamiento. Este sistema es el encargado de que se separen el exocarpio y el mesocarpio para que posteriormente sea sencillo retirar la piel suelta de la pulpa.

3.5.2.1 Rocío de vapor. La fruta al recibe un alza en su temperatura que proviene del vapor, en este sistema el fruto se somete algunos segundos a un chorro de vapor (15 a 30 segundos) el cual hace que la piel se vuelva fácilmente removible, posteriormente se usan chorros de agua para enfriar la fruta y no terminar por cocinarla, a esto lo ayuda su baja conductividad térmica que evita que el calor entre a la fruta y que más bien se mantenga en la capa más exterior.



Figura 13. JBT. (n.d.). Calor por vapor. Retrieved December 6, 2019, from Saturno peeler website: <https://www.jbtc.com/en/north-america/foodtech/products-and-solutions/products/choppers-corers-cutters-emulsifiers-and-peelers/peelers/saturno-peeler>

El tomate y el vapor de agua se entrecruzan por unos pocos segundos como se logra ver en la figura 13, logrando así la transferencia de calor.

3.5.2.2 Agua en ebullición. Es agua hirviendo como se le llama generalmente, puede ser obtenida por métodos de adición de calor sencillos como se ve en la figura 14, los más comunes son de resistencias eléctricas, calentadores a gas o colectores solares, el agua hirviendo se da cuando el agua alcanza la temperatura de 100°C con una presión de 1 atmosfera, aunque el agua pura requiere menos temperatura, el tiempo de la inmersión es muy breve, alrededor de unos 30 segundos son suficientes para generar el desprendimiento de la piel.



Figura 14. ZeoPad. (n.d.). Agua en ebullición. Retrieved December 6, 2019, from Hard boiled website: <https://www.jbtc.com/en/north-america/foodtech/products-and-solutions/products/choppers-corers-cutters-emulsifiers-and-peelers/peelers/saturno-peeler>

3.5.2.3 Infrarrojo. Los tomates entran en un plato rotatorio y son bombardeados por luz infrarroja durante aproximadamente 60 segundos por unas unidades tubulares colocadas a lo largo de la cinta, la luz infrarroja le entrega energía al tomate en forma de radiación lo que hace que el tomate se caliente y se genere el desprendimiento, este proceso se da sin necesidad de usar agua lo cual genera un beneficio a la hora de analizar costos de operación.

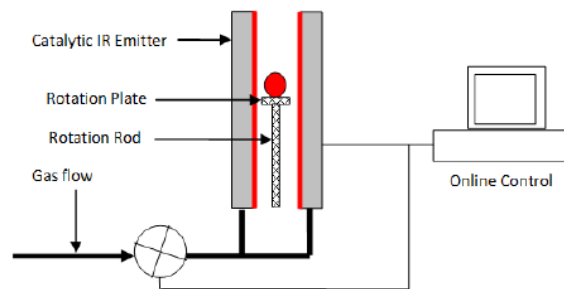


Figura 15. Pan, Z., Wang, Y., Atungulu, G., & Mchugh, T. (n.d.). Development of infrared heating technology for tomato peeling. (January 2015).

Como se observa en la figura 15 este es un proceso de alta precisión y permite controlar de la mejor manera el gasto energético que se debe impartir para lograr el objetivo sin llegar a pelarlo más de lo necesario, aprovechándose más cantidad del producto procesado y por consiguiente se tienen menos pérdidas económicas por procesamiento.

3.5.3 Sistema de pelado. Este sistema está orientado a retirar la cascara de la fruta tratando de conservar la mayor cantidad de pulpa, es decir, quitar solo la parte más próxima al exocarpio para con esto tratar de conservar la integridad de la misma.

3.5.3.1 Rodillos. Un camino de rodillos que giran hacia una misma dirección hace que el tomate ruede sobre sí mismo causando el desprendimiento de la cascara, estos rodillos son accionados por piñones, arrastrados por una cadena o por bandas como se ve en la figura 16.

Adicionalmente, estos cilindros suelen estar acompañados de cepillos que crean fricción ayudando a desprender la cascara; existen distintas disposiciones de los rodillos, pueden ser lisos, con cerdas de nylon, engomados, entre otros.



Figura 16. DURABELT. (n.d.). Camino de rodillos. Retrieved December 6, 2019, from CORREA REDONDA website: www.zeopad.com/media/

3.5.3.2 Centrifugado. Consiste en introducir la fruta en un tambor como el de la figura 17 y hacerlo girar alrededor del eje central, esto genera fuerza centrífuga y centrípeta que junto con la fricción del recipiente las cuales se encargan de remover la cascara. Existen distintos modelos que incluyen la aspersion de agua a medida que la fruta está siendo centrifugada.



Figura 17. La hostelera. (n.d.). Centrifugadora de frutas y verduras. Retrieved December 6, 2019, from Lavadora centrifugadora de verduras con regulador website:

<https://www.lahostelera.com/lavaverduras-y-centrifugadoras/1134-lavadora-centrifugadora-de-verduras.html>

3.5.3.3 Agua a presión. Esta alternativa hace uso de la conservación del momento lineal, usa la velocidad que lleva el agua a través de las boquillas para incidir sobre el tomate y empujar la cascara haciendo que se desprenda, en este sistema se utilizan grandes cantidades de agua que deben ser filtradas para poder reutilizarse con una bomba, funciona de manera similar al sistema de lavado sobre un camino de rodillos o una banda transportadora, en la figura 18 se puede apreciar la aplicación de este sistema.



Figura 18. Zumex. (n.d.). Lavadora de agua a presión. Retrieved December 6, 2019, from lavadora con cepillos website:

www.zumexfoodengineering.com/linea_seleccion_lavado_secado_y_calibrado

3.6 Evaluación de alternativas

Se procede a multiplicar el porcentaje de importancia por un valor que represente la afinidad del sistema con el requerimiento, siendo 0 malo y 9 bueno.

Tabla 13.

Evaluación de alternativas de lavado

Criterio	%	Sistema de lavado					
		Inmersión		Agua a presión		Ozono	
Tiempo de lavado	30.4	3	0.912	6	1.824	5	1.52
Cantidad de agua	34.8	4	1.392	6	2.088	6	2.088
Eficiencia del lavado	34.9	7	2.443	7	2.443	7	2.443
Total			4.747		<u>6.355</u>		6.051

Se obtiene como mejor opción el lavado de agua a presión.

Tabla 14.

Evaluación de alternativas de pelado

Criterio	%	Sistema de pelado					
		Rodillos		Centrifugado		Agua a presión	
Rapidez	25.9	5	1.295	5	1.295	7	1.813
Calidad	38.3	7	2.681	6	2.298	5	1.915
Adaptación	35.8	7	2.506	7	2.506	7	2.506
Total			<u>6.482</u>		<u>6.493</u>		6.234

Las alternativas de rodillos y centrifugado presentan un puntaje similar, se decanta por la opción de rodillos pues se adaptará mejor a la línea de producción.

Tabla 15.

Evaluación de alternativas de calentado

Criterio	%	Sistema de calentado					
		Vapor		Agua en ebullición		Infrarrojo	
Velocidad de T.C.	30.6	9	2.754	8	2.448	5	1.53
Temperatura	37.1	9	3.339	6	2.226	6	2.226
Costo energético	32.3	3	0.969	8	2.584	6	1.938
Total			7.062		<u>7.258</u>		5.694

El agua en ebullición se perfila como la mejor opción para el calentado.

3.7 Especificaciones obtenidas

Con la evaluación de las distintas alternativas se procede a generar el diseño a partir de las opciones que mejor puntaje tuvieron, en el caso del lavado se concluyó que el agua a presión es el que representa mejor las características que debe tener la máquina.

En el caso del sistema de pelado se encuentra que las tres alternativas presentan similitud en sus puntuaciones entonces se procede a seleccionar la alternativa que sea económicamente más rentable y la que se acomode mejor al diseño la cual es el camino de rodillos. Finalmente, el sistema de calentado presenta similitud en dos de las 3 alternativas, obteniéndose como mejor opción el agua en ebullición ya que económicamente los equipos necesarios son fáciles de adquirir que los necesarios por una caldera.

4. Cálculos y selección de equipos

La figura 19 representa el montaje con cada uno de los sistemas que la componen.

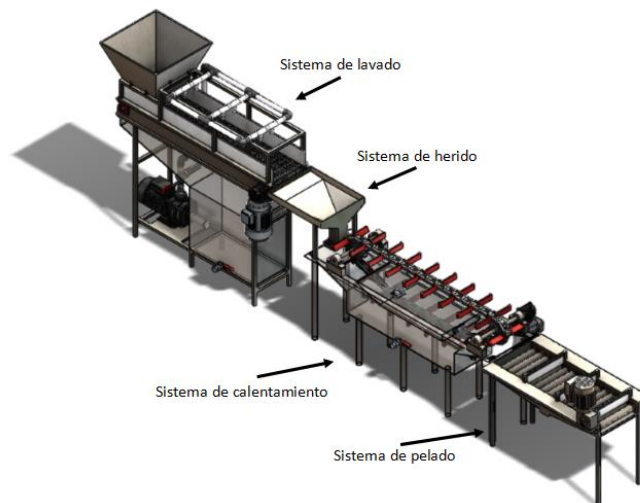


Figura 19. Disposición final de la maquina

4.1 Sistema de lavado

Se compone de la selección y dimensionamiento necesario de la banda de transporte modular y del análisis del sistema hidráulico de recirculación.

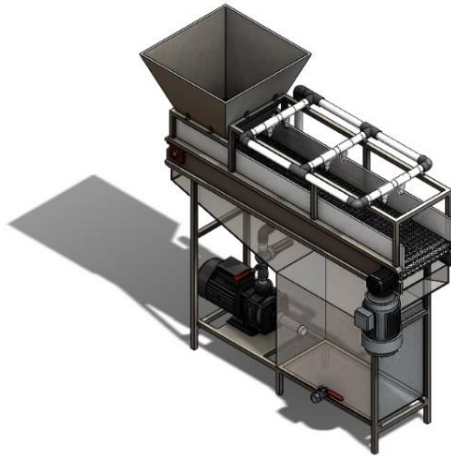


Figura 20. Sistema de lavado

4.1.1 **Cálculo de la tolva.** La tolva deberá cumplir con la función de recepción y esparcimiento del tomate en el sistema de transporte haciendo un flujo constante, con referencia a los criterios de producción que deben cumplirse es necesario que la tolva tenga una autonomía de carga de 75 kg/h como mínimo, esto equivale aproximadamente a 3 canastillas/hora.



Figura 21. Tolva

Al estar en contacto directo con el producto es necesario que esté hecha de un material que cumpla las exigencias de la norma, por ende, se selecciona el acero inoxidable AISI 304 calibre 16 como el material adecuado para la fabricación de la tolva pues es un material común en el comercio.

Con respecto al dimensionamiento de la tolva, esta se asemejará a una pirámide truncada de base cuadrada como se ve en la figura 21, teniendo en cuenta el peso específico del tomate. La cantidad mínima requerida por hora y la restricción de diseño la cual limita a tener menor tamaño que el ancho de la banda transportadora donde se descargará la fruta, esta condición se puede ver en la sección 4.1.2.1, adicional a estas consideraciones se propone incrementar el volumen calculado en 20% por cuestiones de espacios que quedan entre tomates y no son tenidos en cuenta debido a la heterogeneidad de las formas.

Tabla 16.
Cálculo de la Tolva

DIMENSIONAMIENTO TOLVA				
$1 \text{ Vol} = \frac{\text{Capacidad}}{P_{\text{esp}}}$ $2 \text{ Vol} = \frac{1}{3} \cdot h \cdot \left[b_{\text{ma}}^2 + b_{\text{me}}^2 + \sqrt{b_{\text{ma}}^2 \cdot b_{\text{me}}^2} \right] \cdot 1.2$				
Datos de entrada				
#	Variable	Magnitud	Unidad	Descripción
	Capacidad	75	Kg	Demanda del sistema
	p_esp	978.5	kg/m ³	peso específico promedio del tomate
	peso	0.1152	kg	peso promedio del tomate
	volumen	0.0001178	m ³	volumen promedio del tomate
	b_me	0.25	m	dimension base menor
	h	0.35	m	altura
Datos de salida				
1	vol	0.07665	m ³	volumen piramide truncada
2	b_ma	0.5825	m ³	dimension base mayor

Es importante prevenir que el tomate se salga de la banda transportadora, por esta razón se sugiere adicionar una lámina de contención a la tolva, la cual evitará que la fruta se esparza hacia una dirección no deseada como se evidencia en la figura 22, obligando a fluir solo en el sentido de movimiento de la banda transportadora pues por los costados también deberán existir guardas que cumplan la misma función.

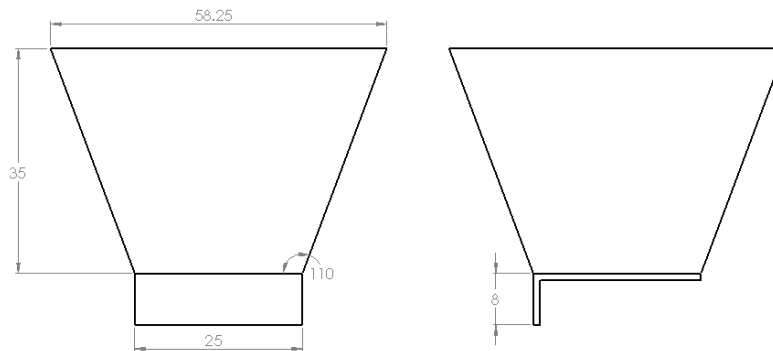


Figura 22. Dimensiones de la tolva

4.1.2 Banda transportadora modular

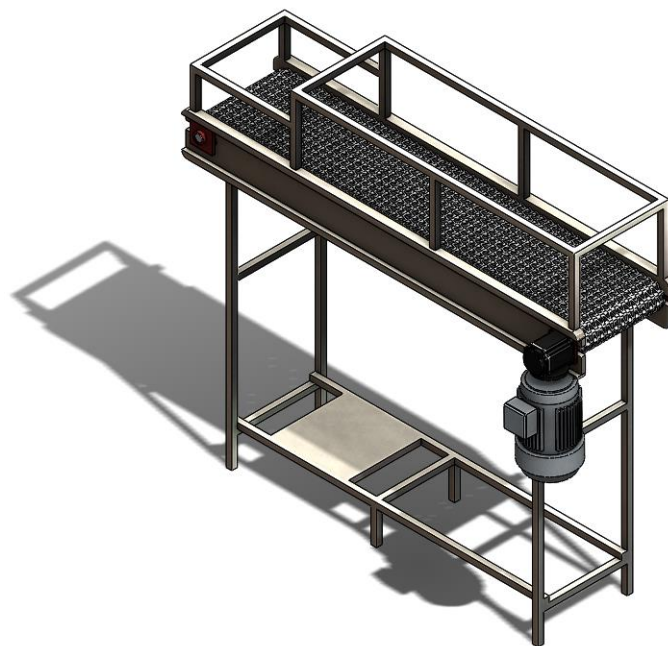


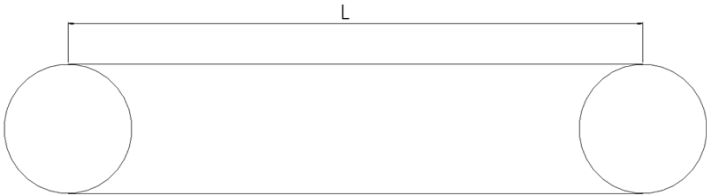
Figura 23. Banda transportadora modular.

Algunos parámetros que dan claridad a la hora del cálculo y selección de una banda transportadora según el catálogo 1000 de LINK BELT.

- Material a transportar: tamaño, peso por metro cubico (máximo y mínimo), abrasividad, contenido de humedad, suciedad, temperatura, rigidez.
- Capacidad: tasa máxima de trabajo expresada en kg/h.
- Camino a recorrer: tener un esquema adecuado con dimensiones.
- Método de alimentación de la banda transportadora.
- Condiciones de operación: horas de operación diaria, condiciones climáticas, velocidad de trabajo.

Tabla 17.

Parámetros diseño banda transportadora

Parametros banda transportadora modular				
				
Datos				
#	Variable	Magnitud	Unidad	Descripción
Material	Tamaño	43.55-70.75	mm	Diametro minimo y maximo
	peso	54.15-176.3	g	Peso unitario minimo y maximo
	abrasividad	no	-	Posee superficie lisa y uniforme
	humedad	si	-	Ambiente altamente humedo
	suciedad	si	-	Particulas de tierra, hojas, insectos
	temperatura	25	°c	Temperatura ambiente
Capacidad	tasa de trabajo	75	kg/h	Produccion minima
Alimentacion	tolva	1	-	En un solo punto
Condiciones	horas	8	hora/dia	Horas de trabajo
	clima	20-25	°c	Temperatura ambiente
	velocidad	baja	m/s	Velocidad de operación

4.1.2.1 Selección de banda transportadora. Se ha elegido la empresa PLADESAN como proveedora de la banda transportadora modular. Es una empresa de la región que tiene un amplio catálogo especializado en partes para el movimiento de material puede ser consultado en su página web (www.pladesan.com), de este se seleccionó la banda modular polimérica de serie 030A48 pues posee un gran porcentaje de superficie abierta (48%) lo cual facilita drenar el agua de regreso al tanque y el piñón serie Z10 el cual es usado para cargas pequeñas y medianas, la figura 24 muestre las elecciones tomadas.

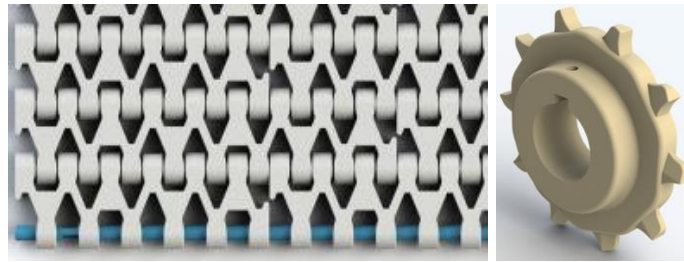


Figura 24. PLADESAN. (n.d.). Banda transportadora modular serie 030A48 y piñón Z10. Retrieved December 6, 2019, from SISTEMAS DE MOVIMIENTO DE MATERIALES website: www.pladesan.com

Una vez seleccionado el tipo de eslabones que se usarán para el diseño se procede a dimensionar la banda partiendo de la geometría de los eslabones y del tipo de piñón que se pretenda usar (ver apéndice 6).

Se opta por tomar 2 eslabones como el ancho de la banda transportadora (30 cm) pues es un tamaño moderado y con esto se evita la tarea de tener que cortar eslabones e incrementar los costos de producción, con respecto al largo de la banda se ha elegido arbitrariamente un largo de 130 cm buscando así minimizar el espacio ocupado para tratar de crear un diseño compacto.

La empresa también recomienda que para que exista un mejor ángulo de contacto o de abrace entre el piñón y la cadena se haga uso de bujes tal y como lo demuestra la figura 25.

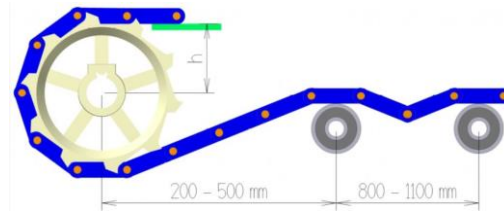


Figura 25. PLADESAN. (n.d.). Distancia de bujes en la banda transportadora. Retrieved December 6, 2019, from Bujes en bandas modulares website: www.pladesan.com

Tenidas estas consideraciones se procede a representar en software CAD el resultado.

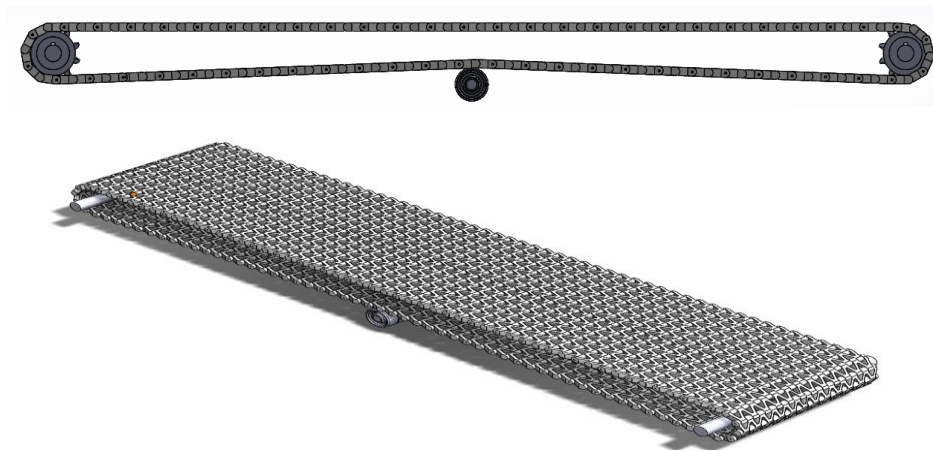


Figura 26. CAD banda transportadora modular

El software SOLIDWORKS proporciona el número de eslabones necesarios para realizar el recorrido, en total se necesitarán 6 piñones (tres en cada eje), 112 eslabones de banda transportadora para cubrir un área de 11.7 ft^2 y 7 bujes, con estos datos se solicitó una cotización a la empresa (ver apéndice 7).

4.1.2.2 Cálculo del motor. Se tomará como base para el cálculo de la potencia y la velocidad los tomates de segunda calidad, ya que al ser menos pesados la banda transportadora necesitará ir más rápido para lograr cumplir la demanda de 75 kg/h, los mismos cálculos fueron hechos para la primera calidad dando como resultado 27.56 rpm y 1.5 watts.

Tabla 18.

Calculo motor banda modular

CALCULO BANDA TRANSPORTADORA MODULAR				
1.	$carga_{max} = carga_2 + peso_{banda} + dem$			
2.	$peso_{banda} = ancho \cdot largo \cdot densidad_{banda}$			
3.	$largo = 2 \cdot l + \pi \cdot r$			
4.	$C_2 = \text{Max} (tomates_{ancho,2l}, tomates_{ancho,2t}) \cdot \text{Max} (tomates_{largo,2l}, tomates_{largo,2t})$			
5.	$carga_2 = c_2 \cdot peso_{2da}$	12.	$Ek_2 = 1/2 \cdot \frac{carga_{max}}{32.2} \cdot V_2^2$	
6.	$tomates_{ancho,2l} = \text{Trunc} \left[\frac{ancho}{d_{2l}} \right]$	13.	$Er_2 = Ek_2$	
7.	$tomates_{ancho,2t} = \text{Trunc} \left[\frac{ancho}{d_{2t}} \right]$	14.	$\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{rpm_2}{60}$	
8.	$tomates_{largo,2l} = \text{Trunc} \left[\frac{l}{d_{2l}} \right]$	15.	$Er_2 = 1.7 \cdot 10^{-4} \cdot rpm_2^2 \cdot wk2_2$	
9.	$tomates_{largo,2t} = \text{Trunc} \left[\frac{l}{d_{2t}} \right]$	16.	$V_2 = \omega_2 \cdot r$	
10.	$rlc_2 = \frac{l}{c_2}$	17.	$T_2 = wk2_2 \cdot \frac{rpm_2}{308}$	
11.	$V_2 = dem \cdot rlc_2 \cdot w_2 \cdot \frac{1}{60}$	18.	$pot_2 = T_2 \cdot \frac{rpm_2}{5250}$	
19.		19.	$pot_{2,c} = 1.2 \cdot pot_2$	
Datos de entrada				
#	Variable	Magnitud	Unidad	Descripción
	L	4.265	ft	longitud de transporte
	dem	165.3	lbm	demanda
	r	0.137	ft	radio piñon
	ancho	0.9843	ft	ancho banda transportadora
	d_2l	0.1506	ft	diametro longitudinal segunda calidad
	d_2t	0.1429	ft	diametro transversal segunda calidad
	peso_2nda	0.1194	lbm	peso segunda calidad
	densidad_banda	1.229	lbm/ft^2	densidad de la banda transportadora
	w_2	8.394	1/lbm	relacion tomate - peso
Datos de salida				
1	carga_max	197	lbf	carga peso del tomate, columna de tomate en tolva y peso banda
2	peso_banda	10.84	lbm	peso de la banda transportadora
3	largo	8.961	ft	longitud de la banda
4	c_2	174	u	cantidad de tomates en la banda
5	carga_2	20.77	lbm	peso total de los tomates en banda
6	tomates_ancho_2l	6	u	cantidad en ancho, disposicion longitudinal
7	tomates_ancho_2t	6	u	cantidad en ancho, disposicion transversal
8	tomates_largo_2l	28	u	cantidad en largo, disposicion longitudinal
9	tomates_largo_2t	29	u	cantidad en largo, disposicion transversal
10	rlc_2	0.0245	ft	relacion longitud-cantidad de tomates
11	v_2	0.567	ft/min	velocidad de la banda
12	ek_2	0.9833	slug*ft^2/s^2	energia cinetica
13	er_2	0.9833	slug*ft^2/s^2	energia rotacional
14	rpm_2	39.53	rev/min	revoluciones por minuto
15	wk2_2	3.701	lb*ft^2	inercia efectiva
16	omega	4.14	rad/s	velocidad angular
17	t_2	0.4751	lb-ft	torque
18	pot_2	0.00357	hp	potencia
19	pot_2_c	0.0043	hp	potencia corregida

Se aprecia que el torque necesario para mover la carga es muy poco debido a la poca carga que se tiene, las revoluciones calculadas también son pequeñas debido a la pequeña longitud de la banda transportadora. Por esto se selecciona del catálogo online de SEW un motor industrial pequeño de 0.18KW (1/4 Hp) con una velocidad nominal de 1070 rpm y con un índice de reducción de 27.5, dando como velocidad final 39 rpm, los datos del motor y la cotización de este se puede ver en los apéndices 8 y 28 respectivamente, el motor ha sido seleccionado con eje hueco en la salida del reductor como se aprecia en la figura 27.



Figura 27. SEW EURODRIVE. (n.d.). Motorreductor para banda transportadora modular WA20DR63L6. Retrieved December 6, 2019, from CATALOGO MOTORREDUCTORES website: www.sew-eurodrive.com.co .

4.1.2.3 Cálculo de chumacera. Se seguirán las recomendaciones que se brindan en la página de SKF y NTN las cuales son dos de las empresas más grandes de rodamientos en el sector, esto para tener una información más completa que ayude a garantizar la correcta selección de chumaceras.

- *Espacio disponible:*

Con frecuencia, las dimensiones principales de una chumacera están predeterminadas por el diseño de la máquina. Normalmente, el diámetro del eje determina el diámetro del agujero del rodamiento. Para un mismo diámetro del agujero, pueden estar disponibles distintos anchos y diámetros

exteriores como se aprecia en la figura 28; La disponibilidad de rodamientos en una serie de dimensiones ISO depende del tipo de rodamiento y del diámetro del agujero.

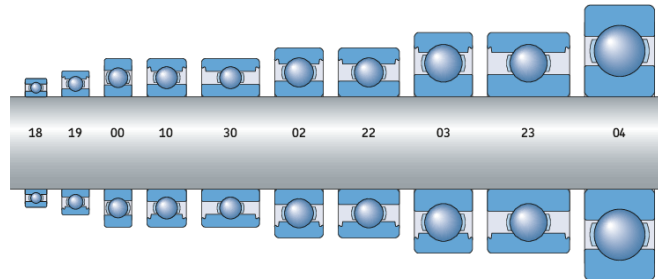


Figura 28. Disposiciones de rodamientos en el eje GRUPO SKF. (2015). *Catálogo General Rodamientos SKF*.

Se caracterizan los ejes en 2 grupos, ejes pequeños y ejes de diámetro normal. A todo diámetro menor a 10 mm serán diámetros pequeños y los demás ejes serán de diámetro normal, como lo es este caso (1 pulgada). Esto indica que se puede utilizar cualquier tipo de rodamiento.

- *Cargas:*

Al momento de analizar el rodamiento que compone a la chumacera por carga se deben tener en cuenta dos factores:

- Los rodamientos de rodillos soportan mayores cargas que los rodamientos de bolas del mismo tamaño
- Los rodamientos completamente llenos de elementos rodantes soportan cargas más elevadas que los rodamientos con jaula correspondientes.

Las cargas normalmente aplicadas en los rodamientos son de tipo radial, axial o combinadas. Para el caso de este proyecto se tiene una carga radial liviana, además podría llegar a existir una componente axial que se podrá tener en cuenta por factores como un posible desalineamiento de

la banda debido al desgaste o por la carga desnivelada de los tomates, lo cual podría generar una posible salida de su línea de acción, para este caso se considera cualquier fuerza axial como nula.

Para soportar cargas combinadas con un componente axial liviano, se seleccionarán rodamientos con un ángulo de contacto pequeño. Los rodamientos rígidos de bolas son una elección habitual para cargas axiales desde livianas a moderadas.

- *Velocidad y fricción:*

Se tendrá en cuenta que la velocidad de operación de la máquina es muy baja, por lo que será necesario un rodamiento con una resistencia a la fricción muy baja, para que de esta forma permita un óptimo desempeño. Así pues, los rodamientos de bolas son las mejores opciones ya que tienen un momento de fricción más bajo que los rodamientos de rodillos del mismo tamaño.

- *Temperatura:*

La temperatura de funcionamiento admisible del rodamiento puede estar limitada por los siguientes factores:

- La estabilidad dimensional de los aros y los elementos rodantes.
- El lubricante, al tratarse de productos alimenticios se deberá contar con uno que sea compatible.
- La velocidad, al ser muy baja junto con la fuerza de rozamiento no generará mayor emisión de calor.

- *Rigidez:*

La rigidez de un rodamiento se caracteriza por la magnitud de la deformación elástica del rodamiento bajo carga, y depende no solo del tipo de rodamiento, sino también del tamaño del rodamiento y del juego de funcionamiento.

Se tendrán en cuenta los siguientes aspectos los cuales dependen del tipo de rodamiento

- La rigidez es mayor en los rodamientos de rodillos que en los de bolas.
- La rigidez es mayor en los rodamientos completamente llenos de elementos rodantes que en el rodamiento correspondiente con jaula.
- La rigidez es mayor en los rodamientos híbridos que en el rodamiento correspondiente completamente de acero.
- La rigidez puede aumentarse mediante la aplicación de una precarga.

En este caso el tipo de rodamiento es de bolas, que se ubica en un término medio de rigidez lo cual no afecta pues el mecanismo trabaja a baja carga y bajo consumo de potencia.

- *Sellado integral:*

El sellado en los rodamientos generalmente se hace para cubrir una o las dos acciones que se mencionan:

- Mantener el lubricante en el rodamiento y evitar la contaminación de los componentes adyacentes.
- Proteger el rodamiento de la contaminación y prolongar su vida útil.

En este caso interesa que la chumacera no contamine el rededor ya que se trabajará con alimentos y se espera también una larga vida útil de funcionamiento, por lo tanto, se decanta por la opción de que tenga un sellado integral.

- *Tipo:*

Existen distintas disposiciones de chumaceras, se proporciona 3 configuraciones populares que se acomodan unas mejor que otras en distintas aplicaciones, estas son con soporte tipo puente o de pie, brida cuadrada y brida ovalada.

Tabla 19.
Materiales bridas NTN

NTN recomienda grados de ◎ a ○ para una óptima resistencia a la corrosión. ◎ ○ △ ▲ ×
Excelente ← → Deficiente

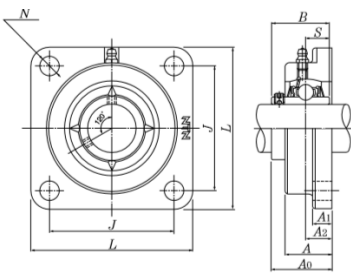
Materiales	Condición	Atmósfera		Agua		Ácido		
		Seco	Húmedo	Agua natural	Agua sódico	Ácido nitrogenado	Ácido sulfúrico	Ácido clorhídrico
Acero inoxidable martensite SUS440C, SUS410		○	△	△	▲	▲	×	×
Acero inoxidable de austenita SUS304, SCS13		◎	◎	◎	○	◎	○	△
Plásticos poliéster VALOX 420		◎	◎	◎	◎	▲	○	○
Polipropileno, polietileno		◎	◎	◎	◎	○	○	○
Acero duro de carbono SUJ2		△	▲	▲	×	×	×	×
Acero de carbono, Hierro fundido		▲	×	×	×	×	×	×

Nota: Adaptado de NTN. (2003). *Chumaceras New Technology Network* (2400 IX/S), P 9.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se procede a elegir una chumacera con brida cuadrada para el sistema de banda modular pues este tipo de brida facilita el montaje de la banda al asegurar la banda con facilidad lo que hace que esta permanezca tensionada, también se ha elegido de la tabla 19 la serie de acero inoxidable austenítico (rodamiento acero inoxidable + alojamiento acero inoxidable).

El diámetro del eje ha de ser de entre 1” y 1-1/2” pues los piñones Z10 ofrecidos por la empresa PLADESAN presentan esta restricción, como se ha mencionado con anterioridad de las características que debe tener la chumacera y con base a la baja potencia utilizada en la maquina se propone elegir la siguiente chumacera para sostener los ejes.

Tabla 20.
Soporte acero inoxidable NTN



Diámetro del eje mm	Número ¹⁾ de la chumacera	Dimensiones nominales									Tamaño del perno mm	Número del rodamiento
		L	J	A ₂	A ₁	A	N	A ₀	B	S		
12	UCFG201D1	86	64	15	11	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC201D1
15	UCFG202D1	86	64	15	11	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC202D1
17	UCFG203D1	86	64	15	11	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC203D1
20	UCFG204D1	86	64	15	11	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC204D1
25	UCFG205D1	95	70	16	13	27	12	35.7	34	14.3	M10	UC205D1

Nota: Adaptado de catálogo de NTN. (2003). *Chumaceras New Technology Network* (2400 IX/S).

El soporte de la chumacera elegido ha sido el **UCFG205D1**.

Tabla 21.
Rodamiento acero inoxidable NTN

Technical drawing of a bearing assembly. The left view is a front view showing dimensions: C (inner diameter), C_a (inner diameter of the cage), d_s (inner diameter of the shaft), r (fillet radius), d (outer diameter), d_A (outer diameter of the cage), S (width of the bearing), S_1 (width of the cage), and B (total width). The right view is a side view showing the bearing assembly with a label "Grasa sólida (LP03)" pointing to the grease application area.

Diámetro del eje mm	Número del rodamiento	Dimensiones nominales											
		d	D	B	C	r_s min.	S	S_1	G	d_s	C_a	d_A	
20	F-UC204D1/LP03	20	47	31	17	1	12.7	18.3	4.5	M5 × 0.8	3.8	29.6	
25	F-UC205D1/LP03	25	52	34.1	17	1	14.3	19.8	5	M5 × 0.8	4	33.9	

Nota: Adaptado de catálogo de NTN. (2003). *Chumaceras New Technology Network* (2400 IX/S).

El rodamiento elegido es el **F-Uc205D1/LP03**.

Una vez seleccionada la chumacera de la tabla 20 y 21 se contactó a la empresa representante en Bucaramanga CADENAS Y BANDAS S.A.S y se pidió cotización de la pieza a lo cual ellos recomendaron que por cuestiones de disponibilidad de inventarios y de precio elegir otra marca cuyas características físicas y propiedades son iguales salvo el alojamiento que no es de acero sino en polipropileno, la marca propuesta por el almacén fue HHB, la cotización se encuentra en el apéndice 9.

4.1.2.4 Eje banda modular

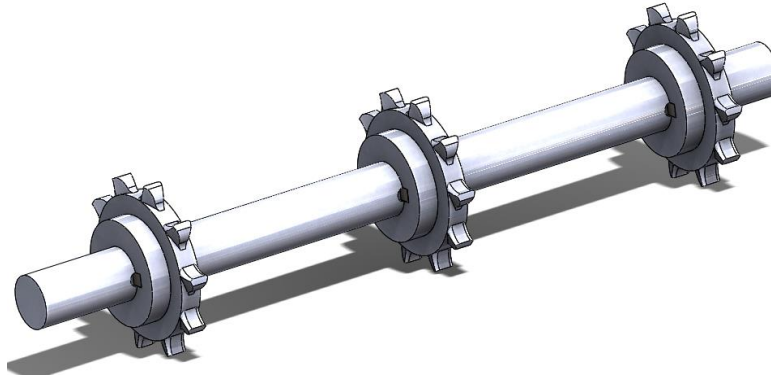


Figura 29. Eje banda transportadora modular

Como fue mencionado anteriormente el diámetro del eje no será diseñado bajo los parámetros comunes de fatiga rotatoria pues la velocidad de giro es muy pequeña, tampoco será analizado por rigidez debido a su baja carga, más bien se tomarán los parámetros de restricción del piñón los cuales se pueden ver en la tabla 22.

Tabla 22.
Tamaños de eje para piñón Z10

MEDIDAS DE EJES DISPONIBLES

TIPO DE EJE Y MEDIDA ⁽¹⁾	MM	IN	CUÑERO: ANCHO X ALTO ⁽¹⁾
Redondo	Ø 25.40	Ø 1.00	1/4 x 1/4 in
Redondo	Ø 30.00	Ø 1.18	8 x 7 mm
Redondo	Ø 31.75	Ø 1.25	5/16 x 1/4 in

⁽¹⁾ Cuñeros por estándar Imperial B.S.46: PART 1: 1958 / Métrico B.S.4235: PART 1: 1972

Nota: Adaptado de PLADESAN. (n.d.). Piñón Z10. Retrieved December 6, 2019, from SISTEMAS DE MOVIMIENTO DE MATERIALES website: www.pladesan.com

Se seleccionará el eje de 1 in en acero inoxidable como el adecuado para esta aplicación, se ubican los chaveteros estándar de ¼ x ¼ in teniendo en cuenta que el fabricante recomienda que la distancia máxima entre piñones sobre el mismo eje sea de 15cm entonces se tomarán 3 piñones por eje, la longitud del eje estará determinada por el ancho de la banda, el espesor de la estructura y la chumacera.

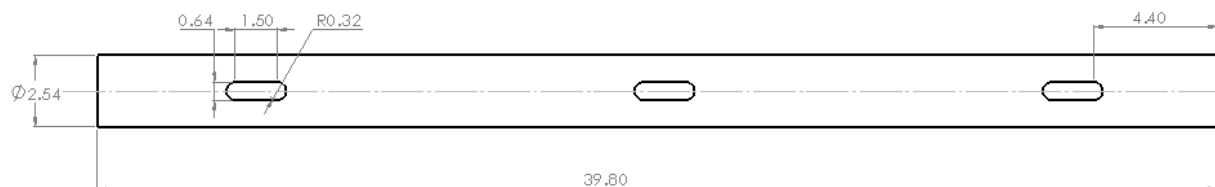


Figura 30. Dimensiones del eje banda modular

Los chaveteros de la figura 30 y chavetas estarán determinados por el estándar métrico B.S.4235: PART 1: 1972.

4.1.2.5 Estructura

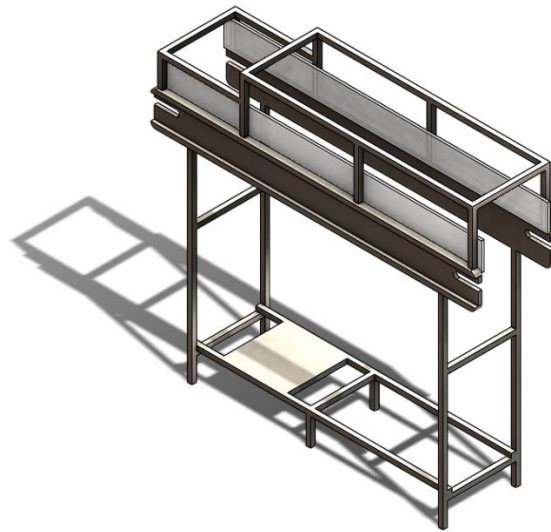


Figura 31. Estructura sistema de lavado

La estructura ha sido diseñada pensando en que sirva como soporte para todos los componentes del sistema, adicionalmente se plantea que la estructura está hecha en acero inoxidable 304 de tubo cuadrado 2 x 2 cm calibre 14.

Es importante que existan guardas laterales a lo largo del recorrido de la banda transportadora para cumplir con la tarea de contener el tomate y evitar las salpicaduras de agua, se proponen láminas de acero calibre 16 atornilladas a la estructura.

4.1.1 Selección de boquillas. Se hace uso del catálogo que presenta la empresa SPRAY la cual cuenta con distribuidores en la ciudad de Bogotá, en este se recomienda que para operaciones de lavado la boquilla tenga una disposición del chorro en forma de cono completo como se muestra en la figura 32.



Figura 32. Aspersor para lavado. SPRAYING SYSTEMS CO. (2011). *Catalog of Products*. Volume 101 P.A2.

Una vez se cuenta con el tipo de aspersión que se debe usar se procede a elegir entre las distintas tecnologías de boquilla que se ofrecen, entre ellas hay de tipo estándar o de conexión rápida, se selecciona la de tipo estándar puesto que las de tipo conexión rápida son para aplicaciones en donde se necesita un constante cambio de estas o para reducir tiempos de mantenimiento, en el catálogo reciben el nombre de boquillas de aspersión FullJet.

Se procede a seleccionar una boquilla (ver apéndice 10) con conexión de entrada de $\frac{1}{4}$ de pulgada y de tamaño 6.5 a una presión de trabajo de 3 bar, pues con esta presión la cual es un poco más de la que se encuentra en las viviendas se buscará remover hojas e impurezas que puedan traer adheridos los tomates y con esto evitar que se contaminen los siguientes procesos, todo esto sin maltratar el tomate, del apéndice 10 se extraen valores de ángulo de aspersión y caudal, para el ángulo de aspersión se realiza una interpolación.

$$Q_{aspersor} = 4.8 \left[\frac{l}{min} \right]$$

$$Angulo_{aspersion} = 48^\circ$$

Las dimensiones y los materiales de las boquillas ofrecidas se pueden encontrar en los apéndices 11 y 12 respectivamente, el material seleccionado fue PVC.

La magnitud del impacto mide el desempeño de la boquilla, este depende del patrón de la distribución en la aspersión y el ángulo, el manual propone la siguiente formula en donde k es una constante con valor de 0.024 (tomado del catálogo) para unidades metricas, Q es el flujo $\left(\frac{l}{min}\right)$ y P es la presion del liquido $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$.

$$I_{total} = K * Q * \sqrt{P}$$

$$I_{total} = 0.024 * 4.8 * \sqrt{3.059}$$

$$I_{total} = 0.2015 [Kgf]$$

Este valor será la fuerza de impacto del agua al tomate a una altura de 20 cm, para hallar el impacto en función del área es necesario multiplicar esta magnitud por una constante porcentual que depende del patrón de aspersión, esta tabla se puede ver en el apéndice 13.

$$I = I_{total} * I_{\%}$$

$$I = 0.2015 * 0.01$$

$$I = 0.002 \left[\frac{kgf}{cm^2}\right]$$

A continuación, se procede a completar la codificación para hacer la cotización de las boquillas siguiendo la guía del catálogo la cual será $\frac{1}{4} GG - PVC 6.5$.

INFORMACIÓN PARA HACER PEDIDO

BOQUILLA DE ASPERSIÓN ESTÁNDAR			
1/4	G	- SS	10
Conexión Entrada	Tipo de Boquilla	Código de Material	Tamaño

Figura 33. Formato del pedido de boquillas. SPRAYING SYSTEMS CO. (2011). *Catalog of Products*. Volumen 101, P.B5.

Se consultó con el equipo de trabajo de Spray y se obtuvo la recomendación que en vez de ser una boquilla de tipo GG (con tapa y vena desmontable) se seleccione una de tipo HH (de una sola pieza) ya que para este tipo de aplicaciones estas son las boquillas sugeridas, y que por el contrario se haga selección de un buen filtro, además ofrecieron unas boquillas en teflón que son para aplicaciones de uso continuo y con mayor duración, se puede ver la cotización de las boquillas en apéndice 14.

4.1.2 Instalación hidráulica. Esta sección está enfocada en el análisis de la hidráulica del lavado y de la selección de equipos apropiados para cumplir la labor, por conveniencia de accesibilidad de conseguir los accesorios necesarios para el montaje y para aumentar la velocidad en la tubería se propone un cambio de sección de 1-1/2" a 1" justo después del filtro.

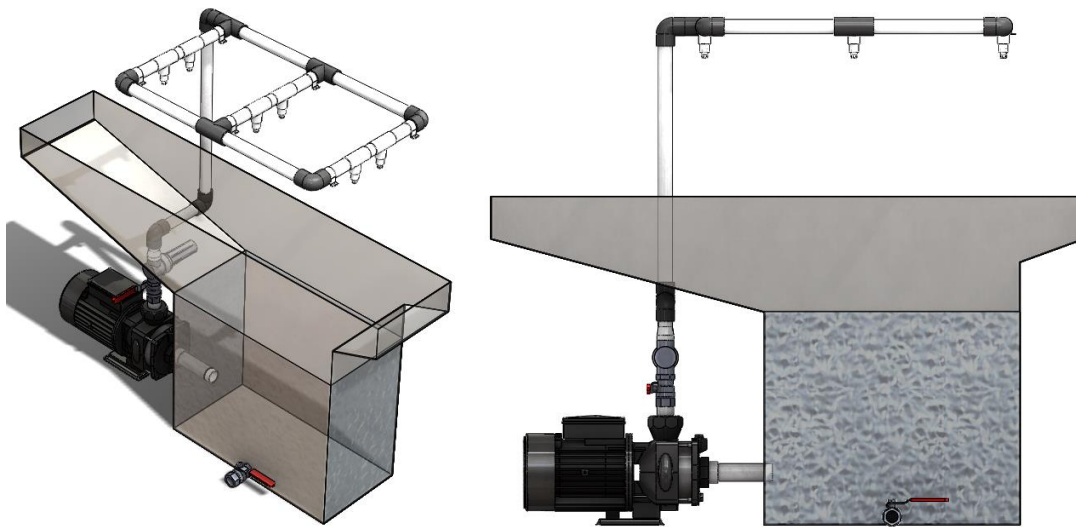


Figura 34. Instalación hidráulica

4.1.2.1 Subsistema de recirculación

- *Tanque:* Se procede a dimensionar el tanque, teniendo como referencia el flujo de las boquillas, cada una requiere de $4.8 \frac{l}{min}$, se propone que hayan 6 de estas en el circuito

hidráulico, por lo tanto, la bomba deberá poder suplir esta demanda con agua proveniente del tanque cumpliéndose la ley de continuidad.

$$Q_{bomba} = \sum Q_{boquillas}$$

$$Q_{bomba} = 6 * 4.8$$

$$Q_{bomba} = 28.8 \left[\frac{L}{min} \right]$$

Se deberá tener como medida preventiva una reserva en el tanque, pues el agua de recirculación irá agotándose a medida que avanza el tiempo por factores como salpicaduras fuera del tanque, difusión hacia el aire pues este presenta una menor concentración de humedad y finalmente el agua que queda impregnada en la fruta, se propone que el tanque tenga un volumen de 3 veces el agua requerida por la bomba en un minuto.

$$Vol_{tanque} = 3 * 28.8$$

$$vol_{tanque} \cong 90 L$$

El tanque estará restringido a un ancho máximo de 30 cm pues se desea que esté debajo de los aspersores, adicional a esto el largo no debe superar la distancia horizontal de la banda transportadora modular que es de 130 cm, con respecto a la altura esta no deberá ser mayor a 90 cm pues se desea que la banda transportadora se encuentre a una altura que permita monitorear visualmente el proceso y en caso de necesitarse alguna corrección manual se pueda hacer sin esfuerzo, se propone que el tanque sea de material SAE 304 calibre 14 y que tenga la disposición que se ve en la figura 35.

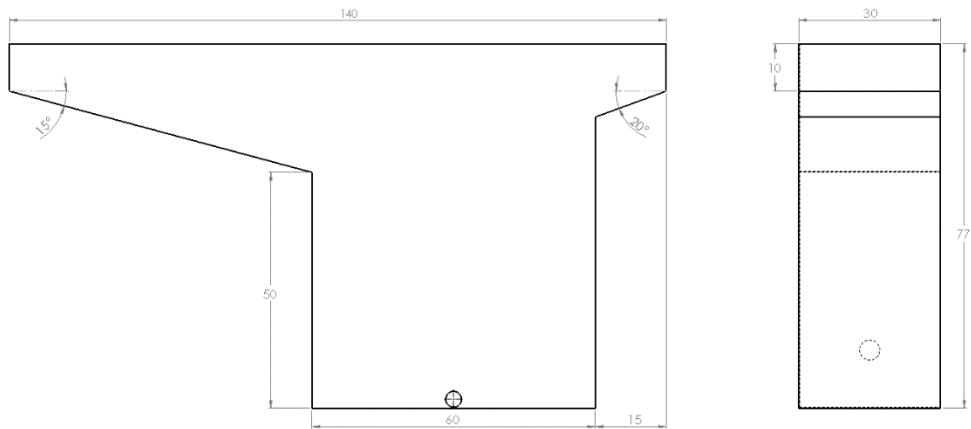


Figura 35. Dimensionamiento del tanque de lavado

• Bomba centrífuga

Es imperativo tener claridad sobre que bomba se necesita para cumplir la demanda de caudal y presión que es solicitada por las boquillas de aspersión, por lo tanto, se hará uso de la fórmula de Bernoulli modificado para dimensionar la bomba, la ecuación 13 depende de la constante k la cual es hallada en la sección 4.1.4.2.

Tabla 23.
Calculo bomba centrífuga

CALCULO BOMBA CENTRIFUGA	
1 $H_{bomba} = h_{geo} + H_f + \frac{p_2}{\rho \cdot G} + \frac{v_1^2}{2 \cdot G}$	
2 $H_f = h_{primaria,1} + h_{primaria,1.5} + h_{secundaria,1} + h_{secundaria,1.5}$	
tramo 1 in	tramo 1.5in
3 $Q = v_1 \cdot a_1$	8 $Q = v_{1.5} \cdot a_{1.5}$
4 $Re_1 = v_1 \cdot \frac{d_1}{\nu}$	9 $Re_{1.5} = v_{1.5} \cdot \frac{d_{1.5}}{\nu}$
5 $h_{primaria,1} = f_{l1} \cdot l_1 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot G \cdot d_1}$	10 $h_{primaria,1.5} = f_{l1.5} \cdot l_{1.5} \cdot \frac{v_{1.5}^2}{2 \cdot C \cdot d_{1.5}}$
6 $h_{secundaria,1} = k_1 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot G}$	11 $h_{secundaria,1.5} = k_{1.5} \cdot \frac{v_{1.5}^2}{2 \cdot G} + \Delta P$
7 $k_1 = 6 \cdot tee + 6 \cdot codo + 6 \cdot tee_{reducida} + 6 \cdot buje$	12 $k_{1.5} = valvula_{bola} + entrada_{tanque} + contraccion$
	13 $\Delta P = k \cdot 0.48^2 \cdot \left 0.000101972 \cdot \frac{mca}{Pa} \right $

Datos de entrada				
#	Variable	Magnitud	Unidad	Descripción
	P2	300000	Pa	presión en aspersores
	g	9.81	m/s ²	gravedad
	hgeo	0.376	m	altura geodesica
	Q	0.00048	m ³ /s	Caudal requerido
	a1	0.0005391	m ²	area seccion 1"
	a1.5	0.001295	m ²	area seccion 1-1/2"
	d1	0.0262	m	diametro seccion 1"
	d1.5	0.0406	m	diametro seccion 1-1/2"
	ρ	997.1	Kg/m ³	densidad del agua
	ν	8.93E-07	m ² /s	viscosidad cinematica
	f1	0.02435	-	factor de friccion seccion 1"
	f1.5	0.02707	-	factor de friccion seccion 1-1/2"
	l1	3.5	m	longitud de la tubería de 1"
	l1.5	0.767	m	longitud de la tubería de 1-1/2"
	tee	1.38	-	coeficiente perdidas tee 1"
	codo	0.69	-	coeficiente perdidas codo 1"
	tee_reducida	0.38	-	coeficiente perdidas reduccion 1" a 1/2"
	buje	0.38	-	coeficiente perdidas buje 1/2" a 1/4"
	valvula_bola	0.06	-	coeficiente perdidas valvula 1-1/2"
	entrada_tanque	0.78	-	coeficiente perdidas tanque - tubería 1-1/2"
	contraccion	0.31	-	coeficiente perdidas cambio 1-1/2" a 1"
	k	1864	-	Constante del filtro
Datos de salida				
1	h_bomba	32.11	mca	energía de la bomba
2	hf	1.019	mca	Perdidas
3	v1	0.8903	m/s	velocidad seccion 1"
4	Re1	26118	-	numero Reynold para la seccion 1"
5	h_primaria_1	1.31E-01	mca	perdida por friccion en seccion 1"
6	h_secundaria_1	0.686	mca	perdidas por accesorios en seccion 1"
7	k1	16.98	-	coeficiente perdidas accesorios seccion 1"
8	v1.5	0.3708	m/s	velocidad seccion 1-1/2"
9	Re1.5	16854	-	numero Reynold para la seccion 1-1/2"
10	h_primaria_1.5	0.00358	mca	perdida por friccion en seccion 1-1/2"
11	h_secundaria_1.5	0.1978	mca	perdida por accesorios en seccion 1-1/2"
12	k1.5	1.154	-	coeficiente perdidas accesorios seccion 1-1/2"
13	Δp	0.0438	mca	Perdidas de presión por filtro

Se calculó que para la instalación propuesta se necesitará una bomba que pueda suplir 32 mca y 30 lpm, con esto se garantiza un correcto funcionamiento de las boquillas, el paso siguiente es consultar catálogos y curvas características de bombas para seleccionar la que más se acomode a la instalación, se consultó el catálogo de IHM S.A.S disponible en línea (www.igihm.com/bombas) la cual es una empresa del sector dedicada a la comercialización de estos equipos.

Se ha seleccionado la bomba 1.1/2A-1.5MW pues cumple con todos requerimientos anteriormente mencionados se puede ver la curva característica y las propiedades de esta bomba en apéndice 15, teniéndose la bomba se procederá a recalcular el flujo volumétrico que en realidad saldrá por las boquillas.

Se procede a simular el sistema en el software EPANET para verificar que todas las boquillas obtengan las presiones requeridas, se inserta entonces la curva característica en el programa a través de 3 puntos tomados de la curva propuesta por IHM y se dibuja la distribución de los aspersores en las tuberías con sus respectivas propiedades, esto se puede ver en la figura 36.

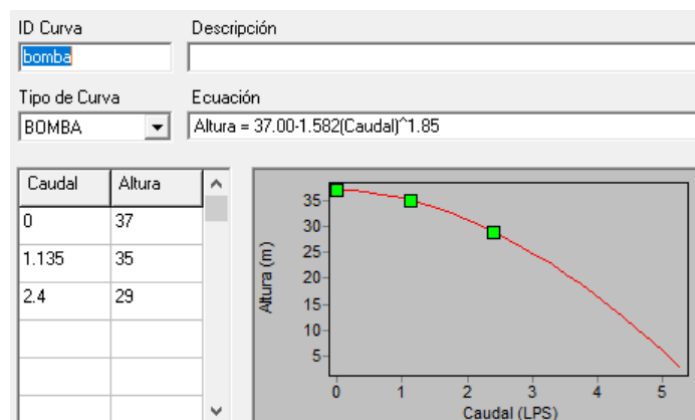


Figura 36. Curva característica

Es importante interpretar que existirá un error pequeño en los resultados debido a la diferencia que existe de la curva insertada por 3 puntos en el programa con la real.

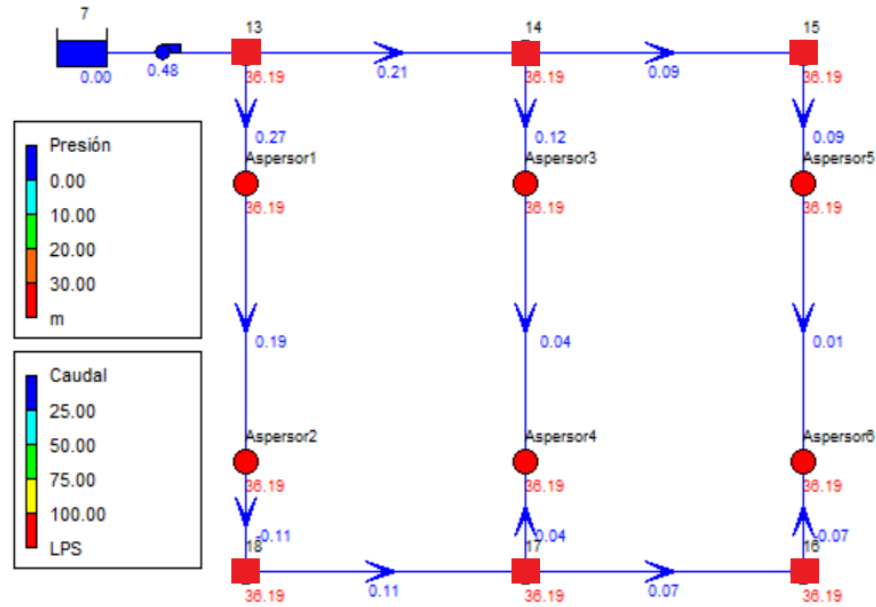


Figura 37. Simulación EPANET

En la figura 37 se obtiene una red con una presión uniforme de 36.19 mca (3.62 bar), debido a que los aspersores están programados para una demanda fija de 0.08 lps lo que resulta en que la bomba transforma la energía resultante en presión como se puede observar en apéndice 16, es necesario calibrar la red hidráulica a través de un proceso iterativo con los datos de comportamiento ofrecidos por el fabricante de las boquillas (ver apéndice 10) de donde se conoce la nueva capacidad volumétrica a la presión mostrada en el software (0.086 lps a 3.6 bar) y se procede a recalcular la tabla 23 y el programa EPANET con estos nuevos valores, obteniéndose en los cálculos una nueva altura de la bomba ($h_{bomba_{calibrada}} = 37.22mca$).

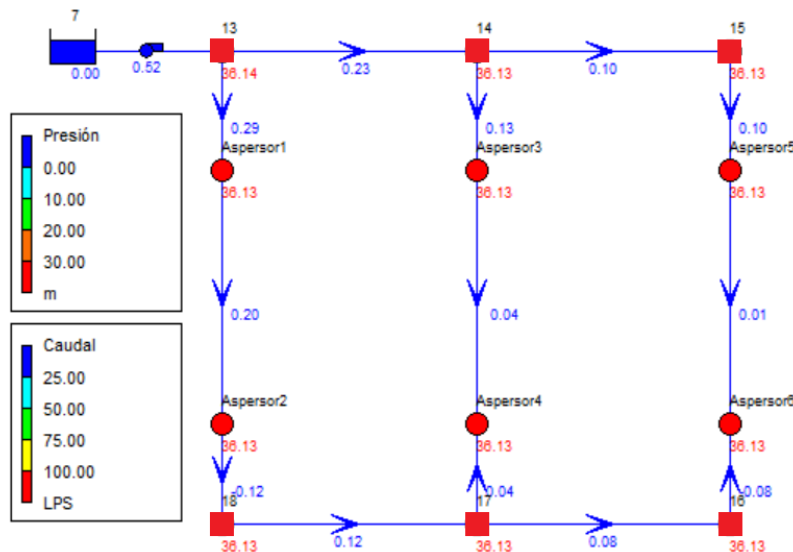


Figura 38. Simulación EPANET calibrada.

Con respecto a los resultados de la figura 38 se aprecia que la presión no va variar significativamente, esto debido a la disposición de interconexión de toda la tubería y a las cortas longitudes de la misma, la altura de la bomba calibrada con respecto a la presión de los nodos varia en aproximadamente 1 mca, este valor es debido a las perdidas en tubería y en accesorios, fue calculado en la tabla 23 el cual no es tenido en cuenta en el programa, dicho esto se confirma que el resultado es fiable y que el circuito esta calibrado.

4.1.2.2 Accesorios y tubería

- *Accesorios en PVC.* Los accesorios serán usados como conexiones para lograr la forma necesaria del diseño CAD, en el apéndice 17 se encuentra una lista detallada de los elementos necesarios los cuales fueron cotizados en la página web de HOMECENTER (www.homecenter.com.co).

- *Filtro.* Es importante para el recirculado del agua que esta no posea partículas provenientes del tomate las cuales puedan llegar a obstruir las boquillas obligando a una parada para mantenimiento, se pidió asesoría a la empresa SPRAY para saber cuál es el filtro más adecuado para esta aplicación puesto que en el catálogo no expresa con claridad cuál es la función de cada serie, la sugerencia que se obtuvo fue de usar la serie AA430ML pues es la línea más versátil en cuestión de tamaño de filtrado que producen, adicionalmente trabaja con presiones bajas (hasta 8 bar) y tiene los mejores precios del catálogo, se procede entonces a solicitar cotización según el formato (ver apéndice 18).

AA124/AA430 SELF-CLEANING STRAINER

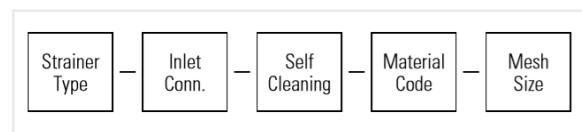


Figura 39. Formato de solicitud de cotización de filtro. SPRAYING SYSTEMS CO. (2011).

Catalog of Products. volume 101, P.G6.

Se usará una conexión de $1\frac{1}{2}$ " la cual dependerá del diámetro de salida de la bomba y fue calculado en la sección 4.1.4.1, el material del filtro será polipropileno y el tamaño de la malla será de 50 micras ya que representa un filtrado adecuado y deja pasar partículas menores a las del diámetro de las boquillas entonces el formato de pedido será AA430ML-1-1/2-PP-50.

Se consultó también con el fabricante sobre las pérdidas de presión que representa tener el filtro en funcionamiento pues en los catálogos no se cuenta con esa información, la respuesta de este fue una tabla que se puede ver en el apéndice 19 en donde se cuenta con una caída de presión de 0.35 bar al trabajar con un caudal de $260 \frac{l}{min}$ considerándose el filtro como nuevo, con esta información se procede a modelar una ecuación exponencial.

$$\Delta p = k * Q^2$$

$$0.35 \text{ bar} * \frac{100000 \text{ pa}}{1 \text{ bar}} = k * \left(260 \frac{l}{min} * \frac{1 min}{60s} \right)^2$$

$$k = 1864$$

4.2 Sistema de herido

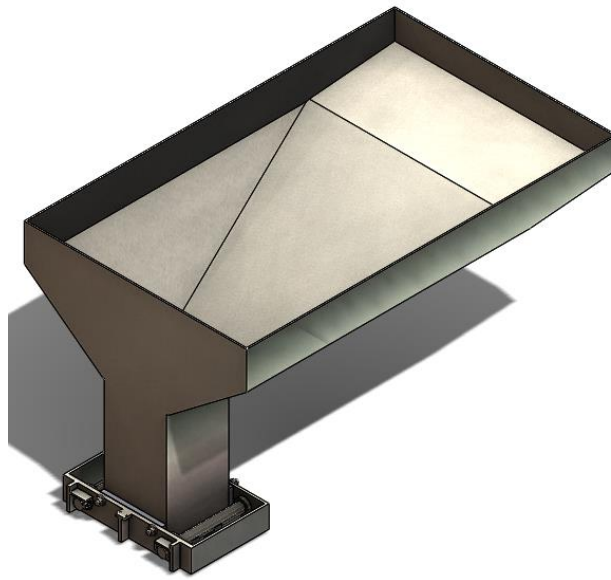


Figura 40. Sistema de herido

Se dividirá este sistema en el dimensionamiento de la tolva de unificación y el mecanismo de herido de los tomates, este sistema deberá trabajar en serie entre los sistemas de lavado y calentamiento.

El funcionamiento del sistema de herido consiste en 4 cuchillas (dos en cada eje) las cuales estarán conectadas a un eje y este a su vez estará conectado a través de un resorte que trabaja a tensión con la estructura, el tomate entrará por la tolva de unificación y se ubicará uno encima del otro hasta lograr vencer la fuerza de los resortes lo cual abrirá el mecanismo, una vez abierto los resortes intentaran cerrarse logrando así el herido de los tomates.

4.2.1 Tolva de unificación

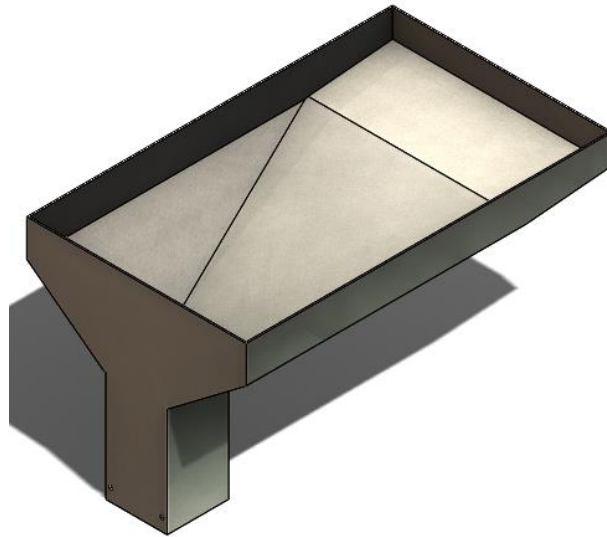


Figura 41. Tolva de unificación

Para el diseño del mecanismo de herido propuesto es necesario apilar los tomates uno encima del otro para aprovechar su peso y hacer contacto con las cuchillas, En este caso es necesario tener en cuenta las dimensiones del tomate (mínimo 43.55 mm y máximo 70.75 mm) como parámetro de diseño para la dimensión de la salida de la tolva. Por otra parte, existe una restricción en la altura de la tolva de unificación pues esta dimensión repercute en la conexión en serie entre la maquina anterior y la siguiente alterando sus alturas, se propone tener una altura dentro de un rango de 10 y 30 cm.

Se ha escogido el rango mayor como el alto de la tolva pues permite tener más tomates apilados lo que traduce en una mayor fuerza y por lo tanto un mayor diámetro del alambre del resorte, el ancho deberá ser igual o mayor al de la banda transportadora pues de lo contrario los tomates se saldrán de la línea de procesamiento, también es necesario que en la tolva exista en todo momento un ángulo de inclinación para que el tomate fluya por su propio peso. Con respecto al material, al

igual que la tolva de descarga será de acero AISI 304 calibre 14 y sus dimensiones se ven en la figura 42.

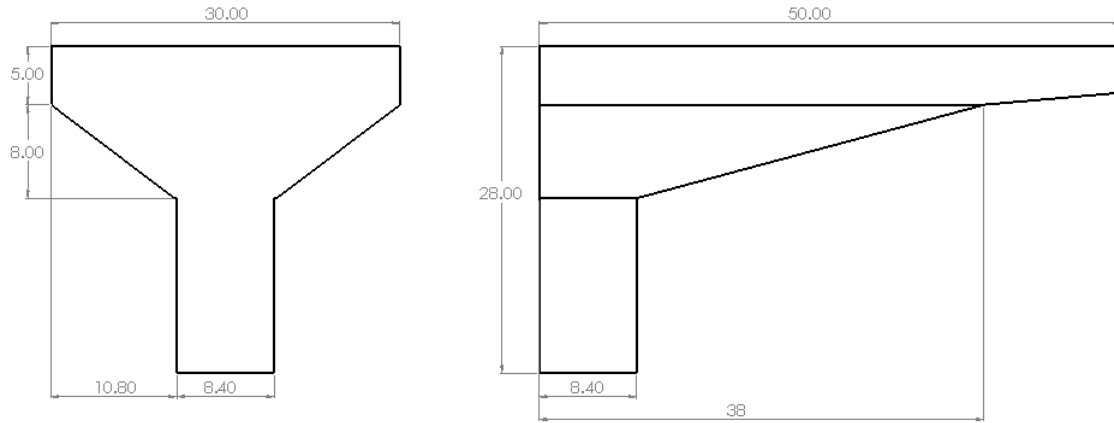


Figura 42. Dimensionamiento de la tolva unificadora

4.2.2 Mecanismo de herido

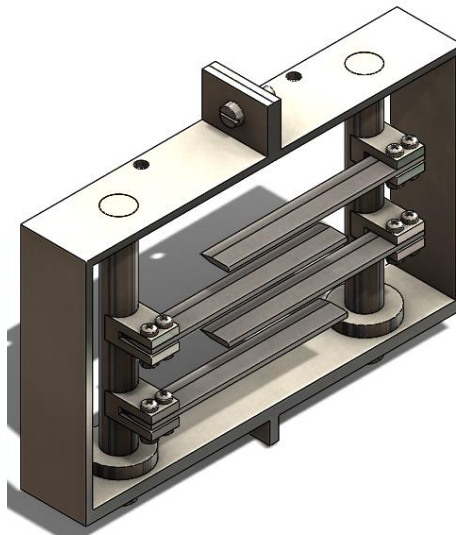


Figura 43. Mecanismo de herido

Se contará con la fuerza de resortes trabajando a extensión que tendrá la función de hacer retornar las cuchillas a una posición que obstruya la libre circulación a la salida de la tolva.

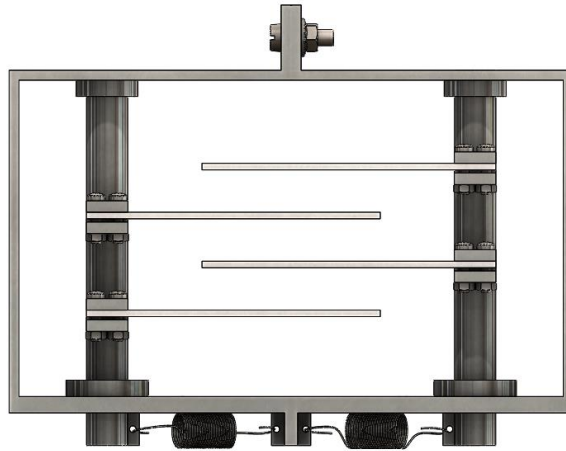


Figura 44. Vista frontal mecanismo de herido

Estará conformado por dos ejes de $\frac{1}{2}$ pulgada encargados de transmitir el peso de los tomates que estarán en contacto con las cuchillas, el mecanismo cuenta con 4 cuchillas espaciadas uniformemente en los 8 x 8 que tiene la salida de la tolva para evitar el atascamiento de los tomates más pequeños, además de asegurar que tanto los tomates pequeños como los grandes entren en contacto con las cuchillas. Conjuntamente se tendrá un perno en la parte superior que permita separar la estructura para armar y desarmar el mecanismo, esto para efectos de mantenimiento.

Las cuchillas estarán hechas de acero inoxidable, tendrán una longitud de 9 cm y estarán sujetos por pernos y tuercas tamaño M5 en sus extremos.

4.2.3 **Ejes mecanismo herido.** Los ejes estarán hechos de acero inoxidable, cumplirán la función de transmitir el torque generado por el peso de la fruta al resorte. El eje deberá ser mecanizado para lograr distintos anchos los cuales servirán para encajar en la estructura y para soporte conforme se muestra en la figura 45.

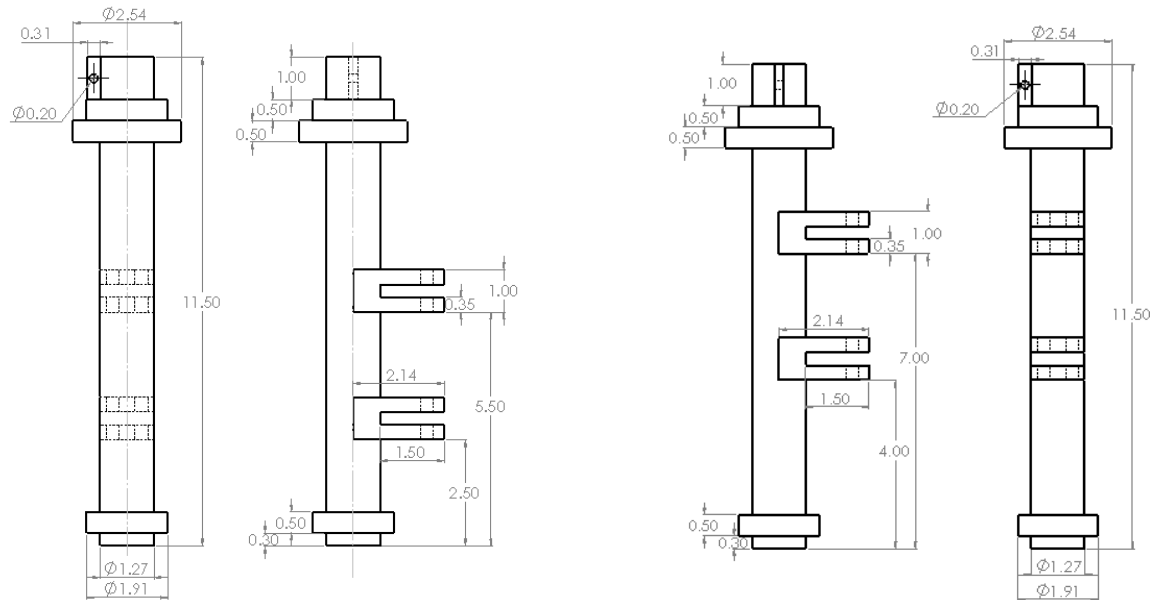


Figura 45. Dimensiones ejes mecanismo de herido

4.2.4 Cálculo del resorte

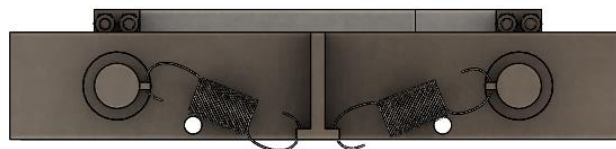


Figura 46. Resortes ASTM A227

Se diseñó el resorte siguiendo la metodología de las memorias de clase del ingeniero Pedro José Díaz Guerrero, inicialmente con el mecanismo ya dimensionado se hace un esquema de que

longitudes deberá tener el resorte en base a las distancias ya dibujadas en el software SOLIDWORKS.

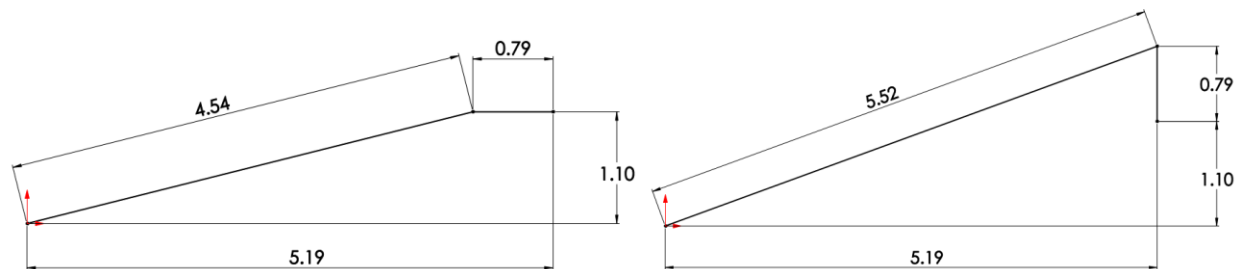


Figura 47. Posición máximo y mínimo desplazamiento del resorte

En la figura 47 se ve que el resorte tendrá una longitud de 4.54 cm en precarga y 5.52 cuando trabaje a su máxima carga, esto corresponde a que la distancia desde el centro del eje hasta el extremo donde ira sujetado el resorte (0.79 cm) gira por efecto del peso de los tomates en la cuchilla, el primer caso se da cuando las cuchillas están perpendiculares al flujo de tomates y el segundo cuando están en paralelo.

Tabla 24.

Calculo resorte mecanismo

CALCULO RESORTE MECANISMO	
1 $F_{\text{tomate,R}} = (W_{\text{tomate}} + W_{\text{cuchilla}} \cdot 2) \cdot 9.81$	8 $\tau_{\text{max}} = -4.231 \cdot C^3 + 181.5 \cdot C^2 - 3387 \cdot C + 28640$
2 $2 \cdot F_{\text{tomate}} \cdot d_{\text{cuchilla}} = F_{\text{resorte}} \cdot d_{\text{resorte}}$	9 $\tau_{\text{min}} = -2.2987 \cdot C^3 + 139.7 \cdot C^2 - 3427 \cdot C + 38404$
3 $C = \frac{Ds}{Dw}$	10 $\tau_i = \frac{\tau_{\text{max}} + \tau_{\text{min}}}{2}$
4 $KS = 1 + \frac{1}{2 \cdot C}$	11 $\tau_i = \frac{8 \cdot F_i \cdot Ds \cdot Kw}{\pi \cdot Dw^3}$
5 $F - F_i = K \cdot Y$	12 $N_t = N_a + 1$
6 $K = \frac{Dw^4 \cdot G}{8 \cdot Ds^3 \cdot N_a}$	13 $LB = N_t \cdot Dw$
7 $Kw = \frac{4 \cdot C - 1}{4 \cdot C - 4} + \frac{0.615}{C}$	14 $N = \frac{Sys}{\tau}$
	15 $\tau = \frac{8 \cdot F \cdot Ds \cdot Kw}{\pi \cdot Dw^3}$

Datos de entrada				
#	Variable	Magnitud	Unidad	Descripción
	dcuchilla	38.7	mm	distancia centroide cuchilla y eje de rotación
	dresorte	8.1	mm	distancia resorte al centro de rotación
	c	8	-	índice del resorte
	sut	207302	psi	Resistencia acero A227
	sys	138892	psi	resistencia al corte acero A227
	dw	0.1205	in	diámetro alambre calibre 11
	y	0.3858	in	desplazamiento del resorte
	G	7.203	psi	módulo de corte
	f_tomate_r	1.619	lbf	peso del tomate + cuchillas real
	w_cuchilla	0.0146	kg	masa de la cuchilla
	w_tomate	0.705	kg	masa de 4 tomates apilados
	Lb	1.787	in	longitud libre
Datos de salida				
1	F_tomate_r	7.203	N	fuerza del tomate real en el eje
2	F_tomate	8.751	N	fuerza del tomate según el resorte
3	Ds	0.964	in	diámetro del resorte
4	Ks	1.063	-	factor de corte directo
5	F	18.8	lbf	fuerza del resorte
6	k	25.52	-	constante del resorte
7	Kw		-	Factor de concentración de esfuerzos
8	tau_max	10994	psi	esfuerzo de corte en agarre máximo
9	tau_min	18752	psi	esfuerzo de corte en agarre mínimo
10	tau_i	14873	psi	esfuerzo de precarga
11	fi	8.953	lbf	fuerza de precarga
12	na	13.83	-	numero de espiras activas
13	nt	14.83	-	numero de espiras totales
14	N	4.447	-	factor de seguridad
15	tau	31229	psi	esfuerzo cortante

El resorte estará hecho de material ASTM A227 calibre 11, estirado en frio, según los cálculos de la tabla 24 contará con una longitud de 4.54 cm y un diámetro de 2.5 cm.

4.3 Sistema de calentamiento

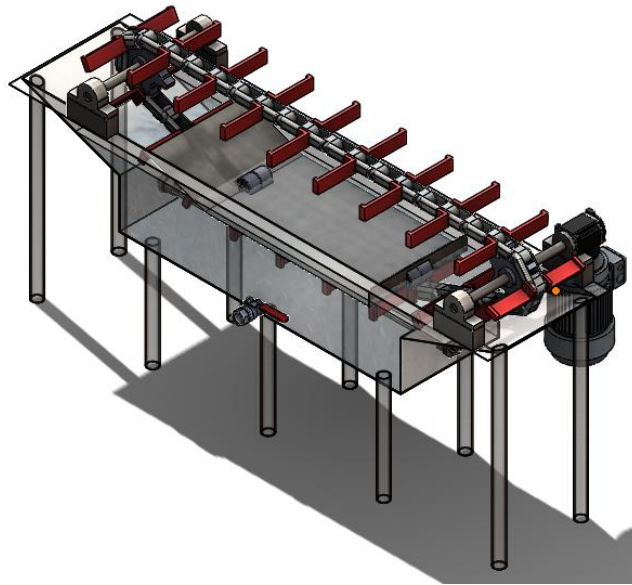


Figura 48. Sistema de calentamiento

Se presenta el diseño propuesto para el proceso de calentamiento del tomate, es necesario garantizar que el tomate en su interior no alcance temperaturas mayores que 60°C ya que esto hará que cambie su color, consistencia y sabor. Por esto se analizará cuanto debe ser el tiempo que debe estar expuesto el tomate a durante el proceso de calentamiento antes de que se cocine interiormente.

4.3.1 Consideraciones

- El tomate está compuesto por agua y sólidos, es un producto isotrópico y su composición no varía durante el proceso de calentamiento, es de forma regular.
- La transferencia de calor en el exterior del tomate se da solo por convección y en el interior solo por conducción.

- Se asume que las propiedades termofísicas permanecerán constantes y no dependerán de la temperatura.
- La figura geométrica que más se asemeja al tomate es la esfera, por esto se aproximarán los cálculos a como si se estuviera transfiriendo calor a una esfera de diámetro promedio para cada una de las calidades de la fruta.

4.3.2 **Propiedades termofísicas.** Según el libro de transferencia de calor de Yunus Cengel 1ra edición en la tabla A-7 se encuentra que el contenido de agua de los tomates es de alrededor de 94% y como consecuencia la conductividad térmica [k], difusividad [α] y calor específico [Cp] se asemejan a las del agua a una temperatura promedio, en este sentido dichas propiedades son.

$$Cp = 3.99 \left[\frac{kJ}{Kg * K} \right]$$

$$\alpha = 0.141 * 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

$$K = 0.59 \left[\frac{W}{m * K} \right]$$

Se hace importante un análisis de la variación de estos factores a medida que va aumentando la temperatura [t], se recurre a emplear el método de Choi y Okos (1986) en el cual se predicen las propiedades térmicas de un alimento en función de sus componentes nutricionales y de la temperatura para un rango de -40 a 150°C.

4.3.2.1 Coeficiente de conducción de calor

Tabla 25.

Conductividad térmica de los alimentos según composición y temperatura

Conductividad <i>termica de los alimentos</i> , $K \left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right]$	
Carbohidratos	$k_{ca} = 0.20141 + 1.3874 * 10^{-3} * t - 4.3312 * 10^{-6} * t^2$
Fibra	$k_f = 0.18331 + 1.2497 * 10^{-3} * t - 3.1683 * 10^{-6} * t^2$
Proteína	$k_p = 0.17881 + 1.1958 * 10^{-3} * t - 2.7178 * 10^{-6} * t^2$
Grasa	$k_g = 0.18071 - 2.7064 * 10^{-3} * t - 1.7749 * 10^{-7} * t^2$
Ceniza	$k_{ce} = 0.32962 + 1.4011 * 10^{-3} * t - 2.9069 * 10^{-6} * t^2$
Agua líquida	$k_{h2o} = 0.57109 + 1.7625 * 10^{-3} * t - 6.7063 * 10^{-6} * t^2$
Hielo	$k_h = 2.2196 - 6.2459 * 10^{-3} * t - 1.0154 * 10^{-4} * t^2$

Nota: Adaptado de CHOI, Y. y OKOS, M.R. 1986. Effects of temperature and compositions on the thermal properties of foods. In: Food engineering and process application. Vol I. Transport phenomena. Le Maguer, M. and Jelen, P. (eds). Elsevier Applied Science Co., Inc. New York. pp. 93-101.

Se utilizan estas fórmulas teniendo en cuenta la fracción de masa de cada uno de los elementos según las propiedades del tomate (apéndice 1) y se analiza su comportamiento haciendo una variación en la temperatura.

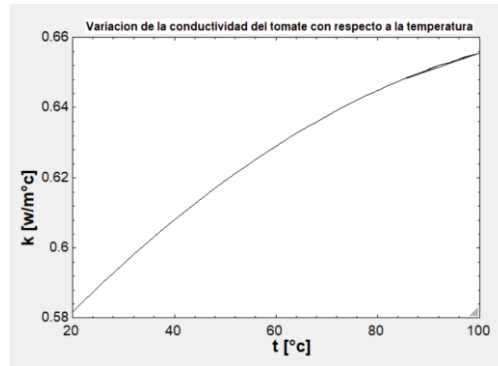


Figura 49. Variación de la conductividad con la temperatura

Lo obtenido en la figura 49 permite demostrar que no existe una variación significativa de la conductividad térmica a medida que se incrementa la temperatura, esta propiedad se tendrá en cuenta para los cálculos como la propuesta por Cengel en la sección 4.3.2. por su similitud.

4.3.2.2 *Calor específico*

Tabla 26.

Calor específico de los alimentos *según composición y temperatura*

Calor específico de los alimentos, $C_p \left[\frac{Kj}{K \cdot a^{\circ}C} \right]$	
Carbohidratos	$cp_{ca} = 1.5488 + 1.9625 * 10^{-3} - 5.9399 * 10^{-6}$
Fibra	$Cp_f = 1.8459 + 1.8306 * 10^{-3} - 4.6509 * 10^{-6}$
Proteína	$Cp_p = 2.0082 + 1.2089 * 10^{-3} - 1.3129 * 10^{-6}$
Grasa	$Cp_g = 1.9842 + 1.4733 * 10^{-3} - 4.8008 * 10^{-6}$
Ceniza	$Cp_{ce} = 1.0926 + 1.8896 * 10^{-3} - 3.6817 * 10^{-6}$
Agua líquida	$Cp_{h2o} = 4.1762 - 9.0854 * 10^{-5} + 5.4731$
Hielo	$Cp_h = 2.063 + 6.0769 * 10^{-3} * t$

Nota: Adaptado de CHOI, Y. y OKOS, M.R. 1986. Effects of temperature and compositions on the thermal properties of foods. In: Food engineering and process application. Vol I. Transport phenomena. Le Maguer, M. and Jelen, P. (eds). Elsevier Applied Science Co., Inc. New York. pp. 93-101.

Asimismo, se calculan cada uno de los parámetros para encontrar el valor del calor específico tal y como se realizó con el coeficiente de convección utilizando las ecuaciones paramétricas de Choi y Okos.

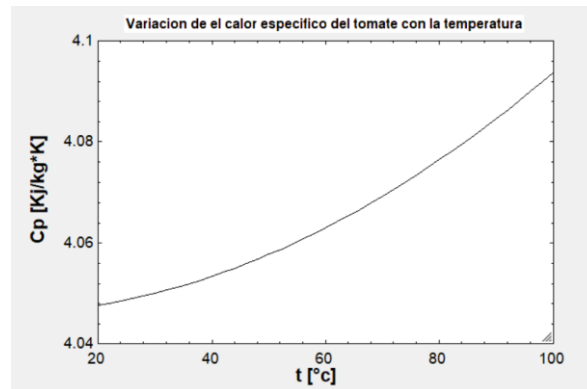


Figura 50. Variación del calor específico con la temperatura

Como resultado se obtiene la gráfica de la figura 50 en donde se aprecia poca variación en gran medida el calor específico del tomate a distintas temperaturas, se tendrá en cuenta los valores del libro de Cengel en la sección 4.3.2. Pues presentan gran similitud.

4.3.2.3 Difusividad térmica. Se define matemáticamente como la relación que existe entre el coeficiente de conducción térmica, la densidad del material y el calor específico.

$$\alpha = \frac{k}{\rho * Cp}$$

Se ha demostrado anteriormente que ni la conductividad térmica ni el calor específico varían de forma considerable con la temperatura, la densidad no es una excepción ya que como se trata de un sólido de dimensiones pequeñas estos cambios en la temperatura afectarán al volumen haciendo que sea un poco mayor pero tan solo en una pequeña proporción y su valor será el obtenido anteriormente por métodos experimentales, todo esto hace que esta propiedad en conjunto

la difusividad térmica no presente grandes cambios y su valor será el obtenido en las tablas del libro de Cengel.

4.3.2.4 Coeficiente de convección. Este coeficiente está fuertemente relacionado con la velocidad que lleva el tomate dentro del fluido ya que si el movimiento es muy rápido se tendrá intercambio de calor por convección forzada y si el movimiento es muy lento la convección será de forma natural. Es de aclarar que para los cálculos realizados el tomate ha sido tenido en como una esfera de diámetro promedio y que las propiedades fueron calculadas a partir del promedio de la temperatura máxima y la mínima.

Se hizo un análisis del tipo de convección que predominaba con respecto al incremento de la velocidad, se aplicó el siguiente criterio el cual fue tomado de los apuntes de clase del ingeniero David Alfredo Fuentes Diaz.

- $\frac{Gr}{Re^2} \ll 1$ Se desprecia la convección natural.
- $\frac{Gr}{Re^2} \gg 1$ Se desprecia la convección forzada.
- $\frac{Gr}{Re^2} = 1$ Existe convección mixta.

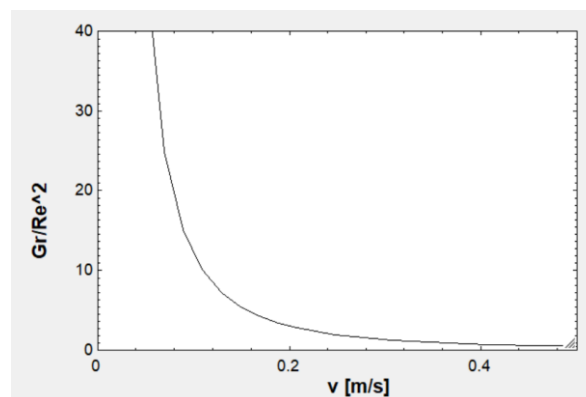


Figura 51. Tipo de convección

Se aprecia de la figura 51 que la convección forzada deberá ser despreciada cuando la velocidad este por debajo de 0.2, entre 0.2 y 0.4 se considerará como mixta y mayor de 0.4 se desprecia la convección natural.

También es importante resaltar que se tomaron estos rangos de velocidades (0 a 0.5 m/s) debido a las pequeñas dimensiones de la estructura que va a contener el agua caliente.

Tabla 27.

Cálculo del coeficiente de convección del agua

CALCULO COEFICIENTE DE CONVECCION

conveccion forzada

1. $Re = \frac{v \cdot d}{\frac{\mu}{\rho}}$
2. $vr = 2 + (0.4 \cdot Re^{0.5} + 0.06 \cdot Re^{[2 / 3]}) \cdot Pr^{0.4} \cdot \left[\frac{\mu}{\mu_s} \right]^{[1 / 4]}$
3. $hf = vr \cdot \frac{k}{d}$

conveccion natural

4. $ra = gr \cdot Pr$
5. $gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (-ts + t) \cdot d^3}{\left[\frac{\mu}{\rho} \right]^2}$
6. $vn = 2 + \frac{0.589 \cdot ra^{[1 / 4]}}{\left[1 + \left(\frac{0.469}{Pr} \right) \left\{ \frac{9}{16} \right\} \right]^{[4 / 9]}}$
7. $hn = vn \cdot \frac{k}{d}$
8. $y = \frac{gr}{Re^2}$
9. $vm^3 = vr^3 + vn^3$
10. $h = vm \cdot \frac{k}{d}$

Datos de entrada

#	Variable	Magnitud	Unidad	Descripción
	P	101350	Pa	Presion atmosferica
	d	0.056	m	diametro prom de las dos calidades
	k	0.6424	w/(m*k)	Conductividad termica del agua
	cp	4100	j/(kg*k)	calor especifico del agua
	ts	25	°	temperatura ambiente
	t	98	°	temperatura de calentamiento
	μ	4.56E-04	Kg/(m*s)	viscosidad cinetica
	μs	8.90E-04	Kg/(m*s)	viscosidad cinetica a t_s
	ρ	982.4	Kg/m^3	densidad de masa
	g	9.81	m/s^2	gravedad
	pr	2.971	-	numero Prandtl
	β	2.99E-03	1/k	coeficiente de expansion termica
	v	0.0325	m/s	velocidad

Datos de salida				
1	Re	3919	-	numero de Reynolds
2	vf	54.25	-	numero Nusselt en conv forzada
3	hf	622.3	w/(m^2*k)	coeficiente de conveccion forzada
4	ra	5.18E+09	-	numero Rayleigh
5	gr	1.74E+09	-	numero de Grashof
6	vn	140.1	-	numero Nusselt en conv natural
7	hn	1607	w/(m^2*k)	coeficiente de conveccion natural
8	y	113.5	-	relacion que define tipo de conveccion
9	vm	142.8	-	numero Nusselt en conveccion mixta
10	h	1638	w/(m^2*k)	coeficiente de conveccion mixta

De la tabla 27 se tendrá en cuenta solo el coeficiente de convección natural.

$$h = 1607 \left[\frac{w}{m^2 * k} \right]$$

4.3.3 Análisis de transferencia de calor por métodos numéricos. Se ha optado por analizar el comportamiento transitorio del tomate de forma numérica ya que las propiedades termofísicas de este hacen que el método analítico sea un poco más tedioso de calcular al obtenerse valores muy pequeños del número de Fourier. Por consiguiente, ya no se puede aproximar la serie semi infinita solo al primer término y con esto obtener errores de tan solo el 2%.

4.3.3.1 Deducción de ecuaciones. La esfera recibe calor por convección en todas las direcciones uniformemente y la transferencia de calor internamente se da en dirección radial por conducción, haciendo que sea fácilmente modelable como un problema transitorio con transferencia de calor en una sola dirección.

La ecuación general de transferencia de calor por conducción en una dimensión se define como:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + Q_g = \rho * Cp * \frac{\partial T}{\partial t}$$

En donde k es la constante de conducción térmica, Q_g es el calor generado, ρ es la densidad, C_p el calor específico, T es la temperatura, t es el tiempo y X es la dirección espacial.

Para este caso particular no se tiene generación de calor y propiedades constantes, por lo que la ecuación que representa la conducción quedara de la siguiente manera al hacer las acomodaciones algebraicas.

$$\alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = \frac{\partial T}{\partial t}$$

El método explícito para solución de métodos numéricos a través de diferencias finitas indica que la discretización de las derivadas son las siguientes

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^l - 2T_i^l + T_{i-1}^l}{\Delta x^2}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t}$$

En donde i es el número del nodo y l es el contador de intervalos en el tiempo, introduciéndolas en la ecuación general de conducción y despejando para T_{i+1}^l se tiene.

$$T_i^{l+1} = T_i^l + Fo \left(T_{i+1}^l - 2T_i^l + T_{i-1}^l \right)$$

Donde $Fo = \alpha \frac{\Delta t}{\Delta x^2}$.

Adicional a esto, es importante tener en cuenta el criterio de convergencia y estabilidad de la discretización de datos, el cual establece que cuando Δt y Δx se aproximan a 0 el resultado tiende a ser una solución real ya que los errores se atenúan, se recomienda que el diferencial de tiempo cumpla con la siguiente ecuación.

$$\Delta t \leq \frac{1}{2} \frac{\Delta x^2}{\alpha}$$

4.3.3.2 Modelamiento. Se hizo uso del software gratuito SS-T-CONDUCT obtenido en la página web de McGrawhill el cual viene incluido en la 5ta edición del libro de transferencia de calor de Yunus A. Cengel.

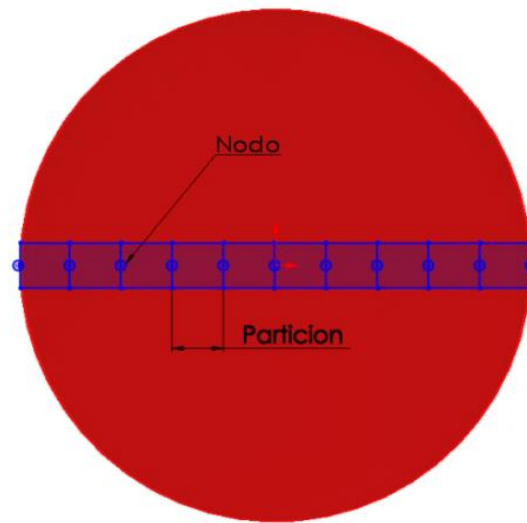


Figura 52. Esquema de particiones del tomate.

Para la solución de las ecuaciones se estima que el tomate será analizado en 11 nodos a lo largo de las 10 particiones que se ven representadas en la figura 52 en donde el nodo 0 y el 10 están expuestos a convección y de los nodos 1 al 9 a conducción.

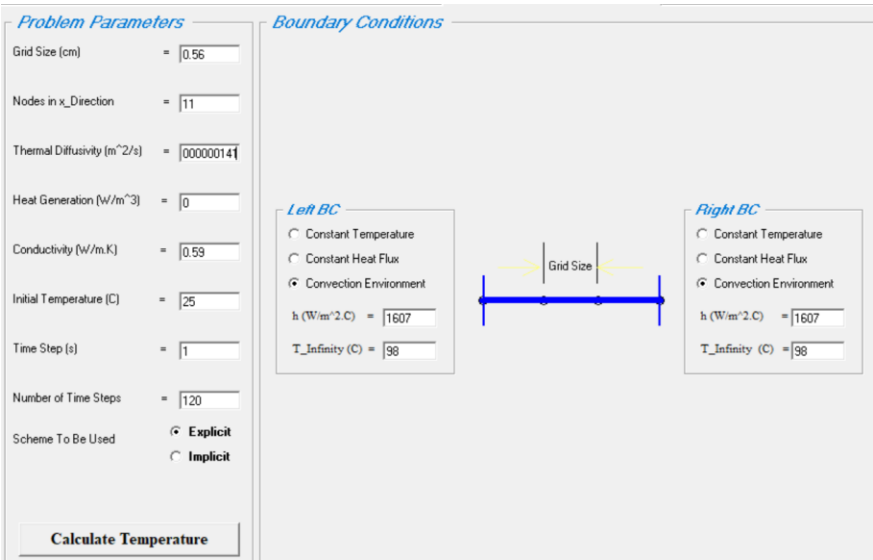


Figura 53. SST Conduct, interfaz transitorio 1 dimensión/ SST Conduct, software libre.

Se introducen las propiedades obtenidas anteriormente, se selecciona el esquema explícito como método de solución y se configura convección como condición de frontera.

T (Degrees Celsius) as a function of x (Meters) and t (Seconds)

t (Sec)	x (m)										▲
	0.	0.006	0.011	0.017	0.022	0.028	0.034	0.039	0.045	0.05	
0	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	▲
1	35.01	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	▲
2	43.56	25.05	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.05	▲
3	50.86	25.13	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.13	▲
4	57.1	25.24	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.24	▲
5	62.42	25.39	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.39	▲
6	66.97	25.55	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.	25.55	▲
7	70.85	25.73	25.01	25.	25.	25.	25.	25.	25.01	25.73	▲
8	74.17	25.93	25.01	25.	25.	25.	25.	25.	25.01	25.93	▲
9	77.	26.15	25.01	25.	25.	25.	25.	25.	25.01	26.15	▲
10	79.43	26.37	25.02	25.	25.	25.	25.	25.	25.02	26.37	▲
11	81.5	26.6	25.02	25.	25.	25.	25.	25.	25.02	26.6	▲
12	83.27	26.84	25.03	25.	25.	25.	25.	25.	25.03	26.84	▼

Figura 54. Resultado SST Conduct

El programa entrega una tabla en donde se muestra la distribución de la temperatura en cada uno de los nodos en función del tiempo, se resume en la figura 55.

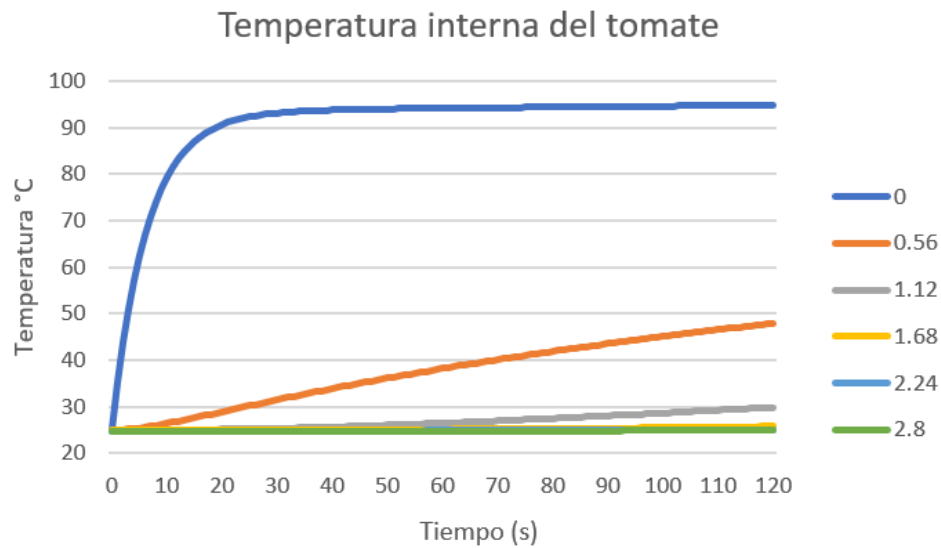


Figura 55. Variación de la temperatura interna del tomate

En donde cada color representa una distancia en centímetros desde el extremo izquierdo (azul) hasta la mitad (verde), las demás particiones tomarán los mismos valores que las ya mostradas pues se considera la simetría del problema.

Es importante destacar que el tomate en su capa más externa aumentará rápidamente su temperatura, pero debido a su baja conductividad térmica se necesitará de una mayor cantidad de tiempo para que la temperatura aumente en los nodos interiores.

Se elige entonces un tiempo de 40 segundos como el tiempo que el tomate deberá estar dentro del agua en ebullición pues el objetivo del escaldado no es cocinar el alimento por dentro sino hacer que la parte más externa del tomate aumente su temperatura.

Las dimensiones de la tina de agua caliente estarán determinadas por el tiempo en el cual el tomate debe estar dentro del agua y por la velocidad a la que el tomate se mueve, se propone una

distancia de 130 cm para que sea el recorrido del tomate por el agua hirviendo y del análisis por métodos numéricos se calculó que el tiempo necesario es de alrededor de 40 segundos.

$$v = \frac{d}{t}$$
$$v = \frac{1.30}{40} \left[\frac{m}{s} \right]$$
$$v = 0.0325 \left[\frac{m}{s} \right]$$

4.3.3.3 Cálculo de la tina de escaldado. Por norma el material a usar deberá ser inoxidable, se hará uso de acero inoxidable AISI 304 calibre 14 por su popularidad en el comercio local.

Se buscará optimizar el volumen para que la cantidad de agua que albergue no sea tan grande pues esto representaría un gran volumen de agua la cual habría que elevar su temperatura y todo esto repercute en el consumo energético.

Adicionalmente hay que tener en cuenta que la paleta de arrastre debe ser capaz de empujar el tomate por fuera de la tina una vez haya cumplido su tiempo en el agua, se propone hacer que la tina tenga en sus extremos una inclinación y que la cadena también la tenga, entonces la cadena no solo transportara al tomate por el agua sino también cumplirá la función de sacarlo, debe haber también una distancia de por lo menos 7 cm desde el agua hasta la parte de arriba de la tina para con esto evitar posibles salpicaduras cuando el tomate ingrese a la tina.

Finalmente se debe contar con una válvula para el drenaje del agua una vez se termine el ciclo de trabajo y se enfríe el agua, se ha dispuesto una válvula de 1 pulgada, también es necesario contar con un puesto para las resistencias eléctricas que calentarán el agua, estas resistencias vienen en

diámetros estándar desde 1 a 2 pulgadas según la cotización que se hizo con la empresa ELECTRIEQUIPOS ubicada en Medellín.

El ancho de la tina como se muestra en la figura 56 estará determinado por el ancho de la cadena y de las paletas de arrastre, por lo tanto, se recurre al catálogo de PLADESAN (disponible en línea www.pladesan.com) para conocer las dimensiones estándar que se ofrecen en donde se selecciona una cadena serie 1400 con un ancho de eslabón de 5cm, y una paleta de arrastre serie PAL30-135 con un ancho de 13.5 cm a cada lado del eslabón dando un total de 32 cm como mínimo, el ancho se normalizara a 35 cm.

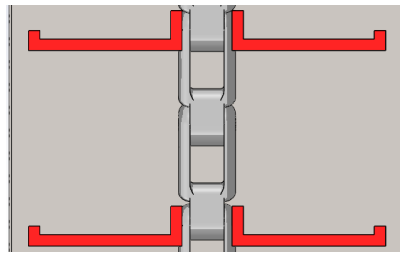


Figura 56. Disposición de la cadena transportadora

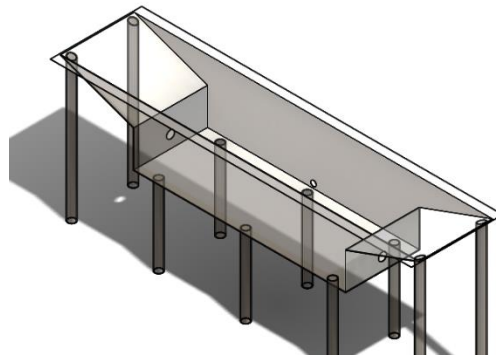


Figura 57. Tina de escaldado

Las dimensiones en centímetros para la tina de escaldado serán las siguientes.

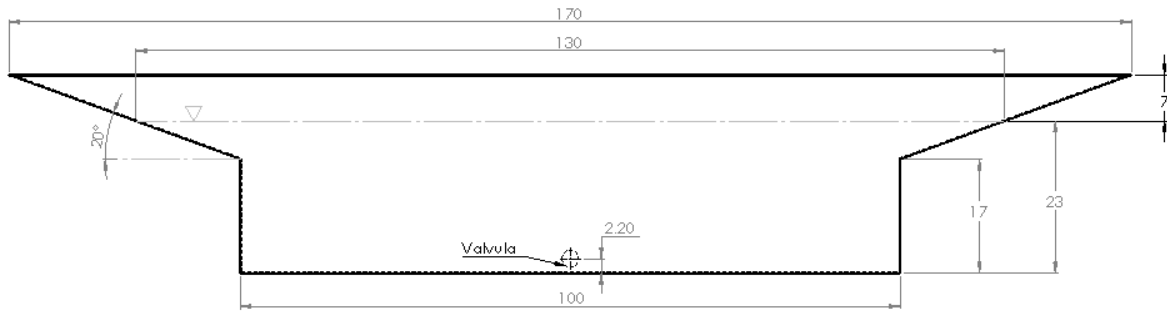


Figura 58. Vista frontal tina de escaldado

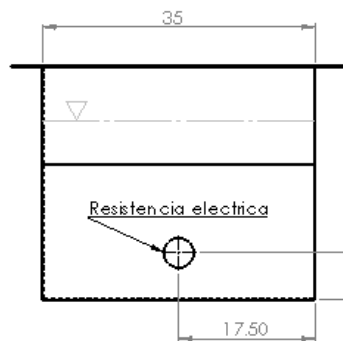


Figura 59. Vista lateral tina de escaldado

Una vez definidas las dimensiones de la tina se procede a calcular el volumen de agua que deberá tener la tina para cumplir estas condiciones, se analizará como dos prismas triangulares y uno rectangular.

$$vol_{tina} = Vol_{prisma_{rectangular}} + 2Vol_{prisma_{triangular}}$$

$$Vol_{prisma_{rectangular}} = 1 * 0.35 * 0.23$$

$$Vol_{prisma_{rectangular}} = 0.0805 [m^3]$$

$$Vol_{prisma_{triangular}} = \frac{0.06 * 0.15}{2} * 0.35$$

$$Vol_{prisma_{triangular}} = 1.575 * 10^{-3} [m^3]$$

$$vol_{tina} = 0.0805 + 2 * 1.575 * 10^{-3}$$

$$vol_{tina} = 0.08365 [m^3]$$

4.3.3.4 Cálculo de la cadena de arrastre

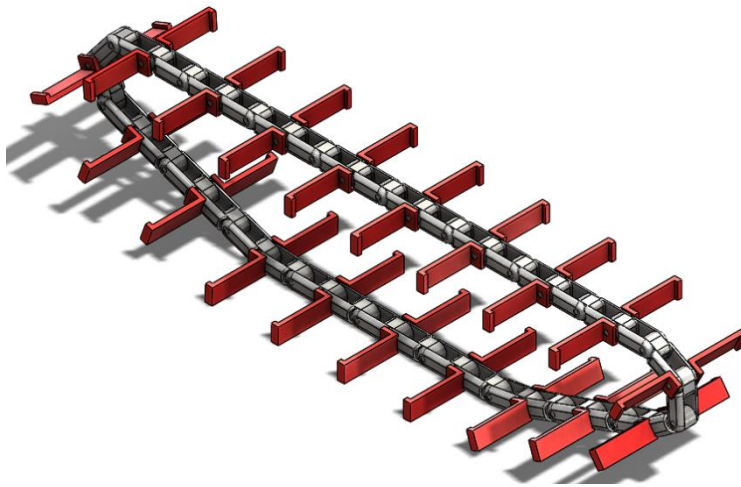


Figura 60. Cadena de arrastre

Como fue mencionado anteriormente la cadena de arrastre debe seguir una trayectoria que permita empujar y sacar a los tomates de la tina de escaldado, se recurre al catálogo de PLADESAN para el piñón serie Z6 (apéndice 20) en donde se identifica el diámetro primitivo de 16.5 cm, adicional se usarán dos bujes de retorno con diámetro exterior de 5 cm para lograr el efecto deseado, los eslabones de la cadena a usar serán de la serie 1400 la cual tiene un paso de 8.25 cm (apéndice 21) y paletas de arrastre de la serie PAL30-135.

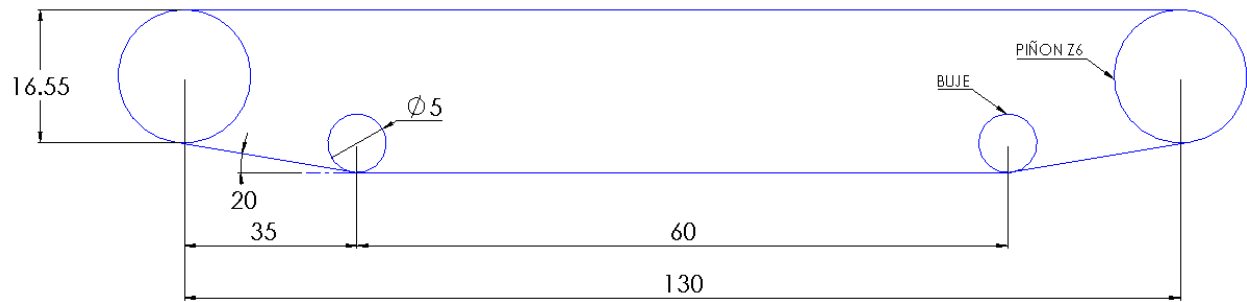


Figura 61. Trayectoria de la cadena de arrastre

Una vez definida la trayectoria se procede a calcular la longitud del trayecto para con esto hallar la cantidad de eslabones necesarios al dividir por el paso, esta longitud se halla con la función medir del software SOLIDWORKS dando como resultado $longitud_{cadena} = 315.8 [cm]$.

$$\#eslabones = \frac{Longitud_{cadena}}{paso}$$

$$\#eslabones = \frac{315.8}{8.25}$$

$$\#eslabones = 38.27$$

La cantidad de eslabones debe ser estrictamente entera, por lo tanto, se recurrirá a seleccionar 38 como el número de eslabones lo que repercute en que un eje deberá tener la opción de ajustarse un poco en las chumaceras.

Para calcular la distribución de las paletas en los eslabones es necesario tener en cuenta que el paso entre paletas debe ser mayor a el diámetro del tomate y también se tiene que tener en cuenta el espesor de la paleta, se analizaran dos posibles disposiciones.

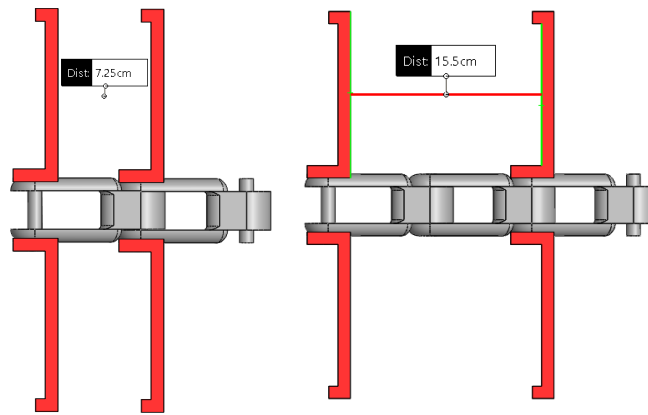


Figura 62. Opciones de paso entre paletas

Se decanta por la opción de dejar un eslabón libre entre paletas ya que esto garantizará que el tomate entre sin ningún problema a la cavidad. Otra razón para elegir esta disposición es que la primera opción se acerca mucho al diámetro de un tomate grande; una vez seleccionado el paso entre paletas se procede a calcular las paletas necesarias teniendo en cuenta que hay una paleta a cada lado del eslabón.

$$\#paletas = \#eslabones * \frac{1 \text{ paso}}{2 \text{ eslabones}} * \frac{2 \text{ paletas}}{1 \text{ paso}}$$

$$\# \text{ paletas} = \# \text{ eslabones}$$

$$\#paletas = 38$$

Determinado el paso entre paletas se procede a calcular el flujo máximo de tomate a través de la cadena de arrastre suponiéndose que entren 4 tomates de diámetro promedio 5.56 cm en cada una de las cavidades del eslabón, se deberá analizar el tiempo que demora la fruta en recorrer un paso entre paletas.

$$\#tomates_{paso} = \frac{4 \text{ tomates}}{\text{cavidad}} * \frac{2 \text{ cavdiad}}{\text{paso}}$$

$$\#tomates_{paso} = 8$$

$$tiempo_{paso} = \frac{0.155m}{0.0325 \frac{m}{s}}$$

$$tiempo_{paso} = 4.77 s$$

Entonces cada 4.77 segundos se procesarán 8 tomates de diámetro y peso promedio, se calculará la cantidad de kilos por hora para comprobar que se cumpla la demanda de 75 kg/h, de no cumplirse será necesario recalcular la velocidad de la cadena de arrastre.

$$Flujo\ mástico_{maximo} = \frac{8\ tomates}{4.77s} * \frac{3600\ s}{1\ h} * \frac{115.22\ gr}{1\ tomate} * \frac{1kg}{1000gr}$$

$$Flujo\ mástico_{maximo} = 695.67 \frac{kg}{h}$$

De la misma manera se calculará cual será el flujo mástico si en vez de 4 tomates por cavidad llegara a entrar solo 1.

$$Flujo\ masico_{minimo} = 173.9 \frac{kg}{h}$$

Del resultado anterior se comprueba que aun con el flujo mástico mínimo se cumple con la demanda requerida en los objetivos.

4.3.3.5 Lámina guía. La tina también deberá tener adaptada una lámina la cual garantice que el tomate se encuentre por debajo del agua durante todo el trayecto y una vez se esté cerca al final del recorrido los libere para que puedan flotar y ser extraídos de la tina con ayuda de las paletas de arrastre.

Se tiene en cuenta el recorrido de la cadena y se plantea que sea una lámina en acero AISI 304 calibre 12 pues esta deberá soportar la tensión de los bujes de la cadena, se plantean con las siguientes dimensiones.

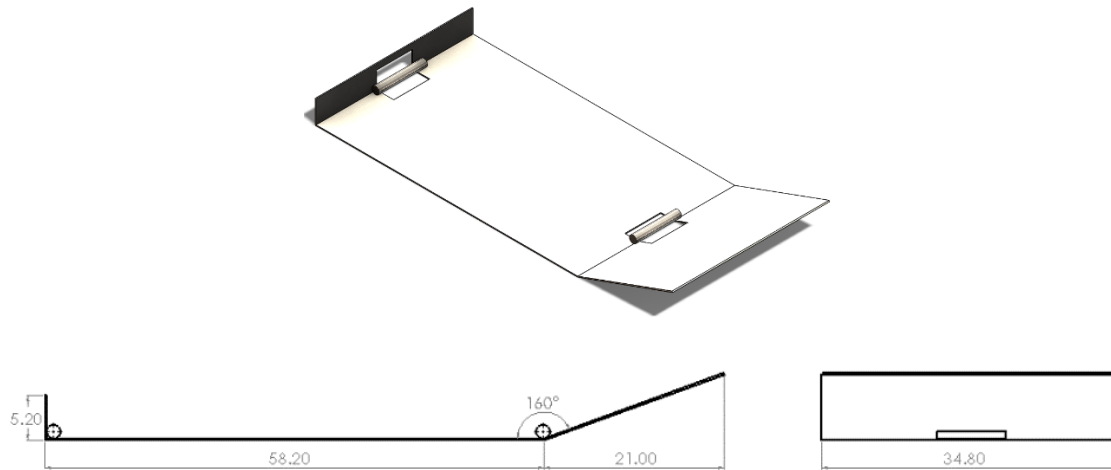


Figura 63. Lámina guía

Se dispone que la lámina guía vaya por debajo del agua y a una distancia de 7 cm de la superficie de la tina.

4.3.3.6 Cálculo del motor para la cadena. La potencia necesaria para mover la cadena transportadora depende de varios factores, que se tienen en cuenta al momento de entrar en operación.

- Fuerza para mover la cadena transportadora vacía
- Fuerza para mover el material dentro y fuera del agua
- Velocidad de la cadena
- Factor de corrección de potencia.

En este diseño se hará uso de cadenas transportadoras las cuales son un tipo de cadenas que gracias a una geometría específica de sus eslabones o enlaces le permiten desempeñar una función de transporte de material.

La fuerza para mover el tomate por dentro del agua será la fuerza de arrastre o fuerza viscosa, la cual representa la fricción que ejerce el fluido sobre un sólido, se da al existir un desplazamiento relativo y en da en sentido opuesto al movimiento, se expresa mediante la siguiente formula.

$$F_d = -\frac{1}{2}\rho * v^2 * A * C_d$$

Donde ρ es la densidad del fluido, v es la velocidad relativa, A es el área frontal del objeto empujado y C_d es el coeficiente de arrastre el cual es propio de distintas formas geométricas y posee un valor proveniente de experimentaciones hechas.

Para el cálculo de la densidad del agua se propone 95°C como temperatura promedio del agua cuyo valor corresponde a $\rho = 959.8 \left[\frac{kg}{m^3}\right]$; según el diseño de la tina de escaldado se tiene que el agua hirviendo tendrá una longitud de 130 cm lo que significara que podrán estar dentro del agua hasta 7 eslabones con paletas de arrastre, lo cual se traduce en 14 paletas de arrastre que serán las secciones frontales para calcular el área, según el catálogo de PLADESAN estas poseen dimensiones 13.5 cm x 4 cm, finalmente el coeficiente de arrastre dependerá de la geometría de la paleta, el cual se presenta en la figura 64.



Figura 64. Coeficiente de arrastre de una placa perpendicular al flujo. Tabla11-1 Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). MECANICA DE FLUIDOS. In *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

$L/D = 0.3$, interpolando se obtiene $c_d = 2.2$

$$F_d = -\frac{1}{2} * 959.8 \frac{kg}{m^3} * \left(0.0325 \frac{m}{s}\right)^2 * 0.0756 m^2 * 2.2$$

$$F_d = 0.084 [N]$$

Por otro lado, se calculará la fuerza mínima para que el tomate suba por la superficie a velocidad constante suponiéndose un coeficiente de fricción dinámico de 0.2 y se calculará para el tomate de peso promedio.

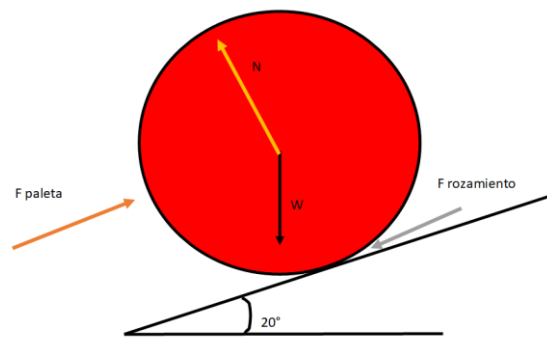


Figura 65. DCL tomate en escaldadora

$$F_{paleta} = f_{fr} + w * \text{sen}(20)$$

$$f_{fr} = \mu_s * N$$

$$N = w * \cos(20)$$

$$N = 0.115 * 9.81 * \cos(20)$$

$$N = 1.06 [N]$$

$$f_{fr} = 1.06 * 0.2$$

$$f_{fr} = 0.212 [N]$$

$$F_{paleta} = 0.115 * 9.81 * \text{sen}(20)$$

$$F_{paleta} = 0.386 [N]$$

Si se contara con que existieran dos pasos de cadena por fuera del agua y ambos estuvieran llenos de tomate se tendría

$$f_{total} = 8 * 2 * F_{paleta}$$

$$f_{total} = 6.17 [N]$$

Otra fuerza que habrá que incluir es el peso de la cadena, se procede a buscar la densidad del material en el catálogo del proveedor, como una aproximación se propondrá que el peso de esta esté uniformemente distribuido en los dos ejes.

$$f_{cadena} = \frac{L * \rho}{2} * g$$

$$f_{cadena} = \frac{3.3 * 2.15 * 9.81}{2}$$

$$f_{cadena} = 34.8 [N]$$

Una vez obtenidas estas dos fuerzas se procede a hallar la tensión total en la cadena

$$F_{tension} = f_{total} + f_d + f_{cadena}$$

$$F_{tension} = 6.17 + 0.084 + 34.8$$

$$F_{tension} = 41.05 [N]$$

Con el valor de la tensión y la velocidad anteriormente hallada (0.0325 m/s) se calcula una potencia inicial la cual será alterada por algunos factores de diseño, la metodología seguida fue obtenida del catálogo de cadenas de JORESA.

$$Pot = F_{tension} * v$$

$$Pot = 0.0325 * 41.05$$

$$Pot = 1.334 [W]$$

Se procede entonces a calcular los factores mencionados anteriormente para encontrar la potencia corregida.

$$POTc = f_1 * f_2 * f_3 * Pot$$

- Coeficiente f_1

Es el factor de servicio que tiene en cuenta las condiciones en que trabaja la transmisión.

Tabla N° 1 (Coeficiente f_1)

Tipo de carga	Ejemplo de máquinas	Motor eléctrico o turbina	Accionamiento	
			Motor de combustión interna	Trans. hidráulica
Regular	Agitadores de líquidos. Bombas centrífugas y de engranajes. Compresores centrífugos. Elevadores y transportadores con carga regular. Generadores y alternadores. Hiladoras. Maquinaria de imprenta. Maquinaria para la fabricación de papel. Montacargas y ascensores. Teleféricos. Maquinas herramientas (toros, taladradoras, fresadoras, rectificadoras). Ventiladores y máquinas soplantes.	1	1	1,2
Irregular	Agitadores de sustancias poco fluidas. Bombas de émbolo de más de 2 cilindros. Compresores alternativos de más de 2 cilindros. Hélices (aplicaciones marinas). Elevadores y transportadores con carga irregular. Laminadoras. Mezcladores. Maquinaria para carpintería. Maquinaria para formar tubos. Trefiladoras. Molinos para materias homogéneas y blandas. Telares.	1,3	1,2	1,4
A golpes	Aparejos de elevación. Bombas de 1 y 2 cilindros. Dragas. Excavadoras. Elevadores y transportadores con carga muy irregular y pesada. Grúas. Maquinaria para perforación. Maquinaria para fabricar ladrillos. Maquinas herramientas (prensas, cizallas, limadoras, cepilladoras). Molinos para materias duras e irregulares. Rotocultivadores. Trituradoras.	1,5	1,4	1,7

Figura 66. Coeficiente f_1 . JORESA. (2019). *Cadenas de rodillos*. Retrieved from www.joresa.com, P,42.

En el proyecto se tendrá un transportador y se usarán cargas regulares además se tendrá un motor eléctrico, por lo tanto, $f_1 = 1$.

- Coeficiente f_2

Este coeficiente dependerá del número de dientes del piñón.

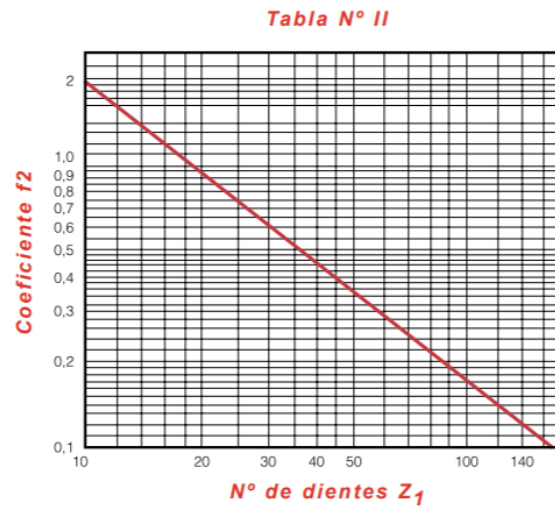


Figura 67. Coeficiente f_2 . JORESA. (2019). *Cadenas de rodillos*. Retrieved from www.joresa.com. P,42.

Para cualquier tipo de piñón diferente de 19 dientes se puede utilizar la figura 67, donde z son el número de dientes. En efecto, si el número de dientes del piñón es igual a 19 el coeficiente ($f_2 = 1$). También se tiene la siguiente relación en caso de no contar con la figura. $f_2 = \frac{19}{z} = \frac{19}{6} = 3.1666$.

- Coeficiente f_3

Este coeficiente depende de la relación de transmisión y de la disposición del montaje.

Tabla N° III (Coeficiente f_3)

		Relación de transmisión							
		1:1	2:1	3:1	4:1	5:1	6:1	7:1	8:1
Distancia entre centros, C	20 pasos	1,45	1,25	1,15	1,08	1,03	0,99	0,96	0,92
	30 pasos	1,31	1,14	1,06	1,01	0,97	0,94	0,91	0,87
	40 pasos	1,22	1,07	1,00	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84
	50 pasos	1,15	1,01	0,95	0,91	0,88	0,85	0,83	0,81
	60 pasos	1,08	0,97	0,91	0,87	0,85	0,82	0,81	0,78
	80 pasos	1,00	0,87	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73

Figura 68. Coeficiente f_3 . JORESA. (2019). *Cadenas de rodillos*. Retrieved from www.joresa.com P.43.

Se tiene un paso de eslabón de 8.25cm y una distancia entre centros de 130 cm por lo tanto se tendrán 15.75 pasos entre centros a una relación de 1:1, entonces extrapolando se obtiene este factor, $f_3=1.51$

Una vez obtenido los valores de los distintos coeficientes se calcula el valor de la potencia corregida a partir de la expresión siguiente como ya se ha visto:

$$POT_c = 1 * 3.1666 * 1.51 * 1.334 = 6.38 W$$

Como la potencia requerida para mover la cadena es baja, se procede a seleccionar un motorreductor de baja potencia y así generar un ahorro de potencia en su operación sin afectar la calidad del trabajo, a su vez uno que proporcione un valor de revoluciones por minuto adecuadas para garantizar el proceso térmico completo del tomate dentro de la tina con agua caliente.

El motor seleccionado con referencia SA47R17DR63S4 de la marca SEW presenta un eje hueco a la salida del reductor, lo cual es ideal pues no se necesitará un acople para conectar ejes, además posee una potencia de 0.12 kW (1/6 Hp) y su velocidad de salida es 3.8 rpm lo cual hace que sea ideal para esta aplicación, los datos del motor y la cotización de este se puede ver en los apéndices 22 y 28 respectivamente.



Figura 69. SEW EURODRIVE. (n.d.). Motorreductor Motorreductor para proceso de calentamiento SA47R17DR63S4. Retrieved December 6, 2019, from CATALOGO MOTORREDUCTORES website: www.sew-eurodrive.com.co

4.3.3.7 Cálculo de rodamientos. El rodamiento y el alojamiento se seleccionaron siguiendo la metodología propuesta en la sección 4.1.2.3, con respecto al rodamiento a utilizar se propone el mismo que fue seleccionado anteriormente pues las limitantes en el diámetro del eje estarán determinadas por los piñones como en el caso anterior.

Tabla 28.
Dimensiones del alojamiento NTN

F-UCPM2

NTN

Chumacera tipo puente (Serie de acero inoxidable)
Con tornillo de fijación (Prisionero)

The diagram shows two views of the NTN F-UCPM2 bridge bearing housing. The left view is a side profile showing the housing's cross-section with dimensions H (total height), L (total length), J (width of the bridge), A (width of the base), N (width of the inner ring seat), N₁ (width of the outer ring seat), B₁ (width of the inner ring), B₂ (width of the outer ring), L₁ (length of the inner ring), B (width of the bridge), and S (width of the base). The right view is a front view showing the housing's top profile with dimensions B (total width) and A (width of the base).

Diámetro del eje mm	Número ¹⁾ de la chumacera	Dimensiones nominales											Tamaño del perno mm
		H	L	J	A	N	N ₁	B ₁	B ₂	L ₁	B	S	
20	F-UCPM204/LP03	33.3	120	95	30	12	14	11	64	42	31	12.7	M10
25	F-UCPM205/LP03	36.5	130	105	30	12	14	12	70	42	34.1	14.3	M10

Nota: Adaptado de catálogo de NTN. (2003). *Chumaceras New Technology Network* (2400 IX/S)

Una vez seleccionada la chumacera referencia F-UCPM205/LP03 se contactó a la empresa representante en Bucaramanga CADENAS Y BANDAS S.A.S y se pidió cotización de la pieza a lo cual ellos recomendaron que por cuestiones de disponibilidad de inventarios y de precio elegir otra marca cuyas características físicas y propiedades son iguales salvo el alojamiento que no es de acero sino polipropileno el cual también es un material aceptado por la normas y soporta la temperatura de trabajo, la marca propuesta por el almacén fue HHB, la cotización se puede ver en apéndice 9.

4.3.3.8 Eje cadena de arrastre

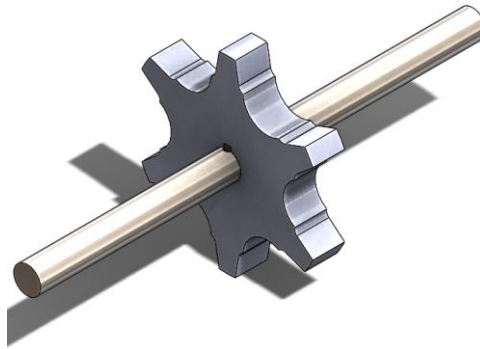


Figura 70. Eje cadena de arrastre

De la misma forma en que fue dimensionado el eje de la sección 4.1.2.4 y bajo las mismas condiciones se procede a diseñar el eje para la cadena de arrastre, en este caso al ser una chumacera tipo puente solo se tomarán en cuenta el ancho de la chumacera y el ancho de la tina para el cálculo de la longitud del eje.

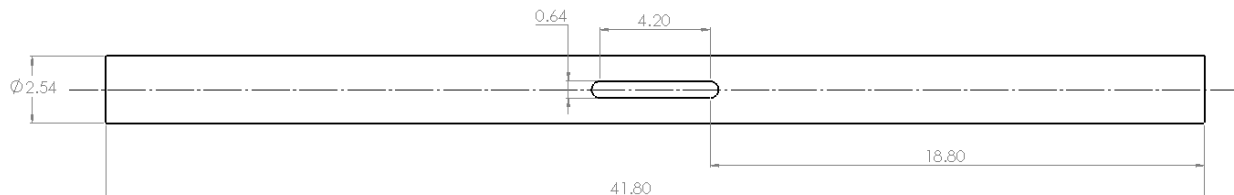


Figura 71. Dimensiones eje cadena de arrastre

4.3.1 Simulación de la temperatura del agua. Se recurre a utilizar el software MATLAB con el fin de modelar el comportamiento transitorio del agua buscando obtener un rango de temperaturas de entre 95 y 98°C a través del control ON-OFF en una resistencia, se hará uso del entorno de programación visual SIMULINK.

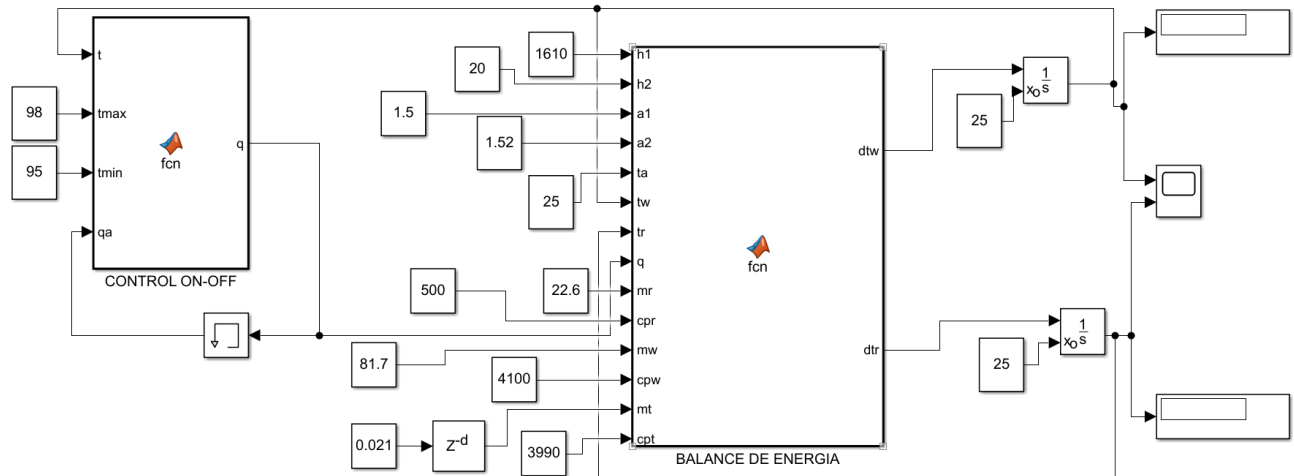


Figura 72. Modelamiento interfaz SIMULINK

Se plantea un modelo cero dimensional como forma de análisis del sistema.

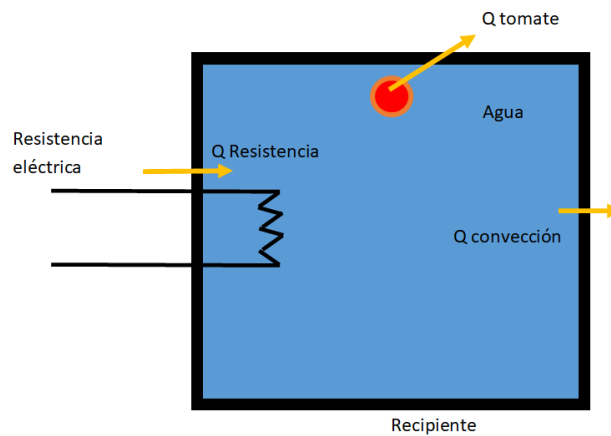


Figura 73. Modelamiento del problema

Se realiza un balance de energías para el agua y para el recipiente, en este caso se despreciará la resistencia por conducción del recipiente debido a su pequeño espesor y gran conductividad térmica.

- Balance de energía para el agua.

$$Q - h1 * a1(tw(t) - tr(t)) - mt * cpt(95 - 25) = \frac{d}{dt}(mw * cpw * tw(t))$$

- Balance de energía para el recipiente.

$$h1 * a1 * (tw(t) - tr(t)) - h2 * a2 * (tr(t) - ta) = \frac{d}{dt}(mr * cpr * tr(t))$$

Despejando de las ecuaciones anteriores la variación de temperaturas del agua y del recipiente se obtiene las ecuaciones de la figura 74.

```
function [dtw,dtr] = fcn(h1,h2,a1,a2,ta,tw,tr,q,mr,cpr,mw,cpw,mt,cpt)
    dtw = (q-h1*a1*(tw-tr)-mt*cpt*70)/(mw*cpw);
    dtr= (h1*a1*(tw-tr)-h2*a2*(tr-ta))/(mr*cpr);
```

Figura 74. Programación bloque balance de energía

Una vez es modelado el sistema térmico se procede a implementar el control on off de la figura 75, se propone variar la potencia “q” de la resistencia para obtener el comportamiento deseado, se ha tomado como valor base 10000 watts.

```
function q=fcn(t,tmax,tmin,qa)
    %#codegen
    if t>tmax
        q=0;
    else
        q=qa;
    end
    if t<tmin
        q=10000
    end
```

Figura 75. Programación bloque de control On-Off

Las propiedades a insertar como constantes en el cuadro de balance de energía han sido tomadas de valores obtenidos anteriormente y de propiedades físicas de los materiales, se procede entonces a ejecutar el modelo.

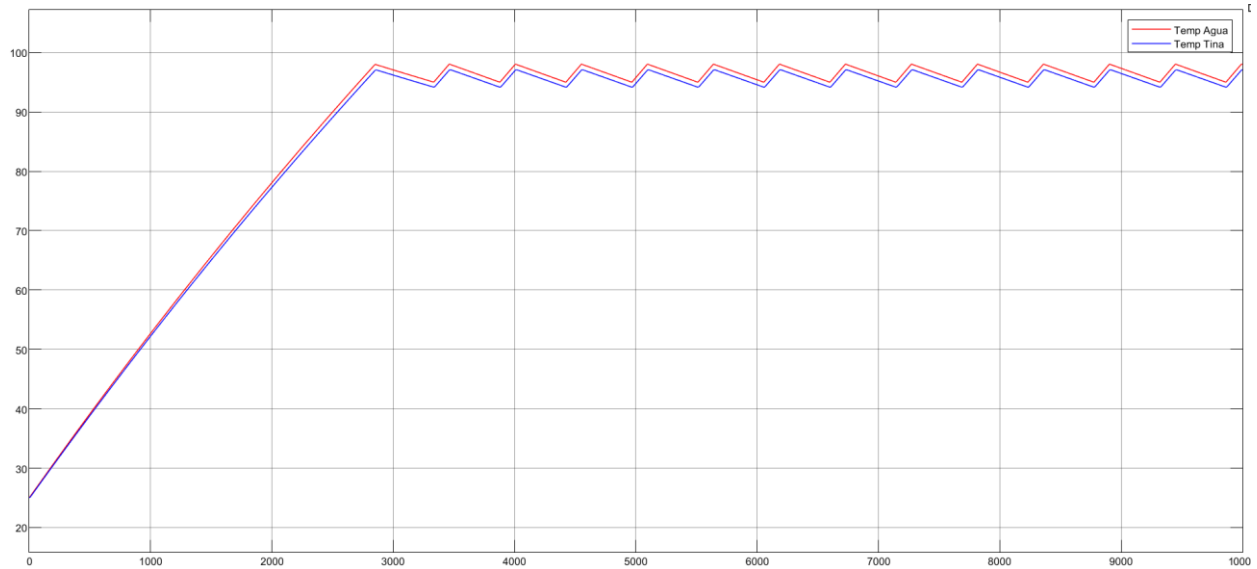


Figura 76. Variación de la temperatura del agua

De la figura 76 se aprecia que alrededor de los 2900 segundos (48.3 min) el control de la resistencia empezará a funcionar, por lo tanto, este será el punto indicado para iniciar el proceso de escaldado pues a cada segundo se pierde energía por convección con el ambiente, se tomarán 50 minutos como el tiempo de puesta a punto de la escaldadora.

También cabe resaltar que los periodos de encendido son aproximadamente 3 veces menores que los de apagado, lo cual permite ahorrar energía y controlar eficazmente el proceso.

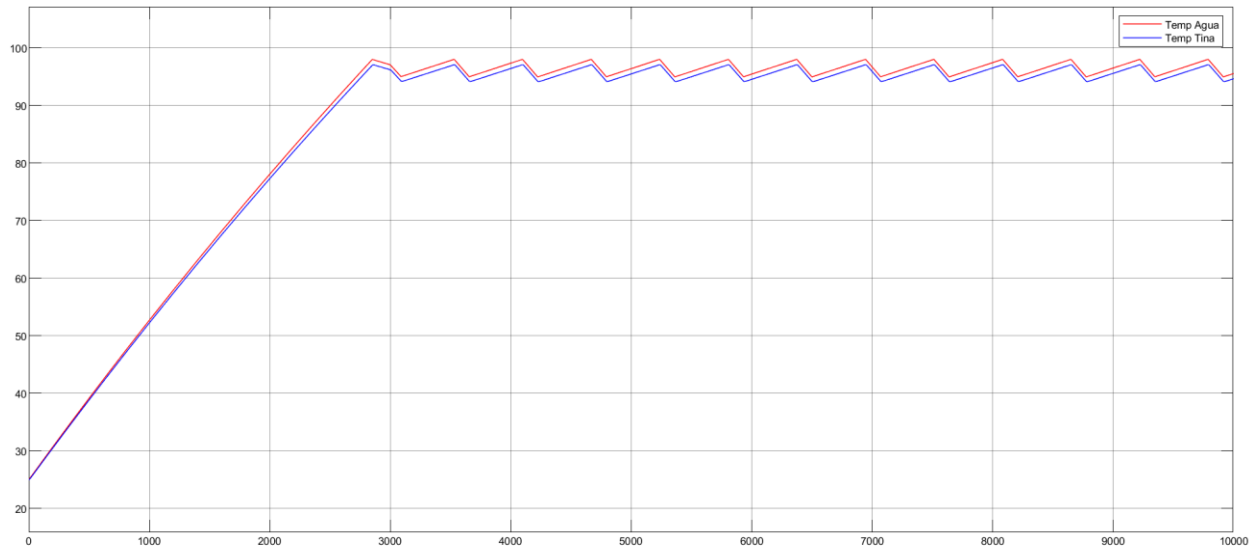


Figura 77. Puesta a punto de la escaladora

Como resultado final se tiene que para una resistencia de 10000 Watts el sistema necesitará 50 minutos de precalentado para poder iniciar su operación, como se puede ver en la figura 77 el sistema sufre una fluctuación debido a que a los 3000 segundos el agua pierde calor pues se empezará a retirar calor del agua a través de los tomates, otro cambio que se da es que los periodos de apagado son más cortos y los de encendido más largos.

4.3.2 Control de la resistencia. Una vez se comprueba que el sistema funciona con la resistencia seleccionada se procede a diseñar un sistema que ayude a cumplir la función de encender y apagar las resistencias, para esto se cuenta con una potencia de 10000 w, se ha seleccionado un pirómetro, una termocupla tipo J y un contactor, la descripción de los elementos a usar y sus precios se encuentran en los apéndices 23 y 24.

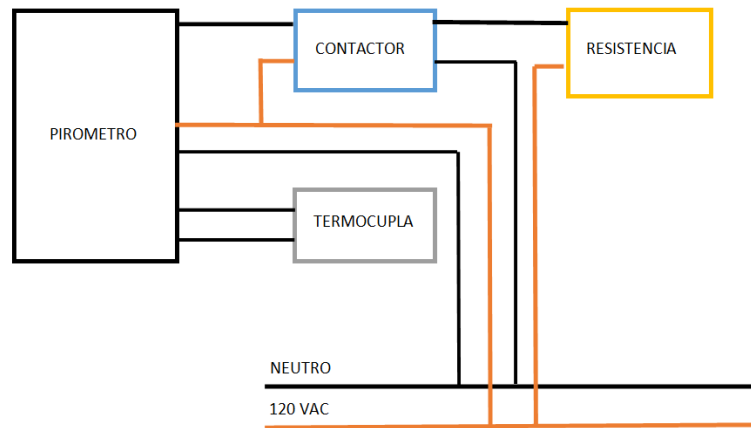


Figura 78. Diagrama de conexión control on-off

Es de esperarse que la temperatura del agua tienda a ser uniforme debido a su movimiento.

4.3.3 Montaje

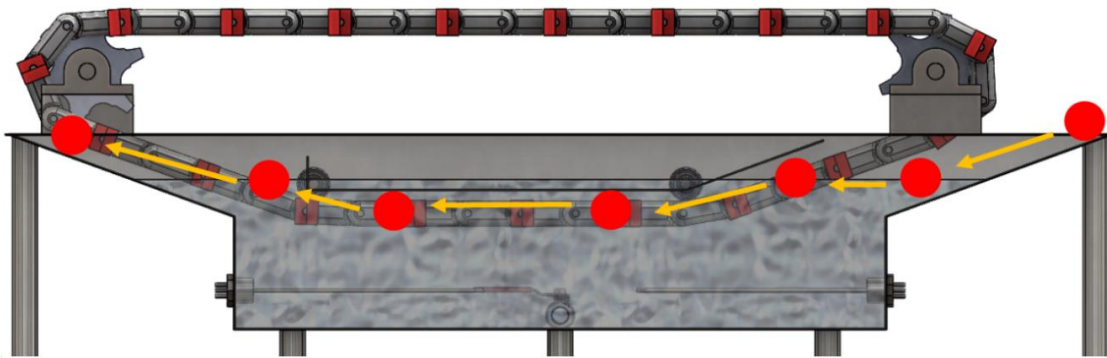


Figura 79. Proceso de escaldado

Como se puede ver en la figura 79, a la entrada y a la salida de la tina se tiene que la cadena va paralela a la superficie (20°), esto facilita el empuje de las paletas de arrastre y evita que el tomate sea aplastado entre la paleta y la tina, una vez ingresa el tomate a la tina por la parte derecha este pasará a empujar hacia la lámina guía a los que ya se encuentran en la tina hasta el momento en que una paleta arrastre los cargue. Esta los empuja lentamente contra la lámina guía que hará que

el tomate se sumerja y concluya el recorrido por debajo del agua, una vez terminado el recorrido la lámina guía ya no estará para evitar que el tomate salga a superficie, por lo tanto, flotará y será guiado hasta la superficie de salida de la tina sacándolo del agua a medida que la cadena avanza.

4.4 Camino de rodillos vivos

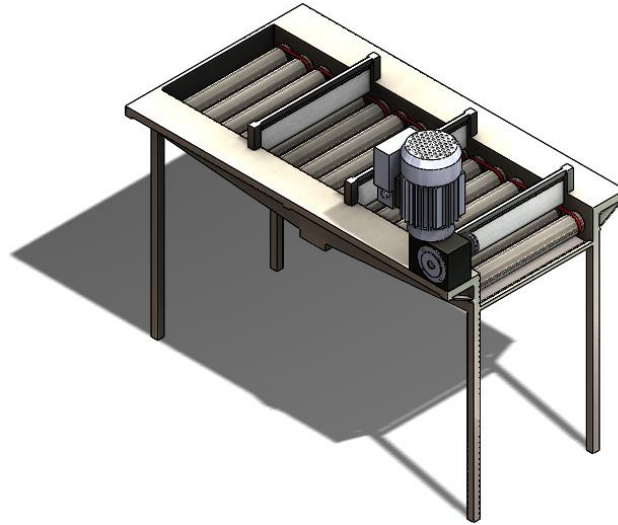


Figura 80. Camino de rodillos vivos

Para esta selección se tendrá en cuenta el material del rodillo, ya que se necesita un alto nivel de higiene alimenticio pues en esta etapa el tomate quedará sin piel la cual naturalmente cumple la función de proteger la fruta, este proceso estará limitado por los valores del tratamiento hecho por la máquina de escaldado la cual se conectará en serie con la maquina trasportadora de rodillos. Como fue calculado anteriormente el flujo masico podría ser de más de $75 \frac{Kg}{h}$, según la velocidad calculada por la cadena de arrastre se espera que el tomate salga a una velocidad de $0.0325 \frac{m}{s}$.

4.4.1 **Diseño y selección del rodillo.** Se propone para el dimensionamiento inicial un camino de rodillos de 1m de largo para en el cual se incluyen los claros de separación que hay entre rodillo y rodillo, sabiendo que el diámetro del rodillo planteado en la construcción es de 2", lo cual permite colocar cómodamente una cantidad de 16 rodillos en el camino total. Se calcula un claro aproximado de 0.92 cm lo cual no pone en riesgo de deslizamiento entre rodillos a los tomates de segunda calidad, puesto que el diámetro mínimo de tomate que se tiene previsto es de 43mm (4.3 cm).

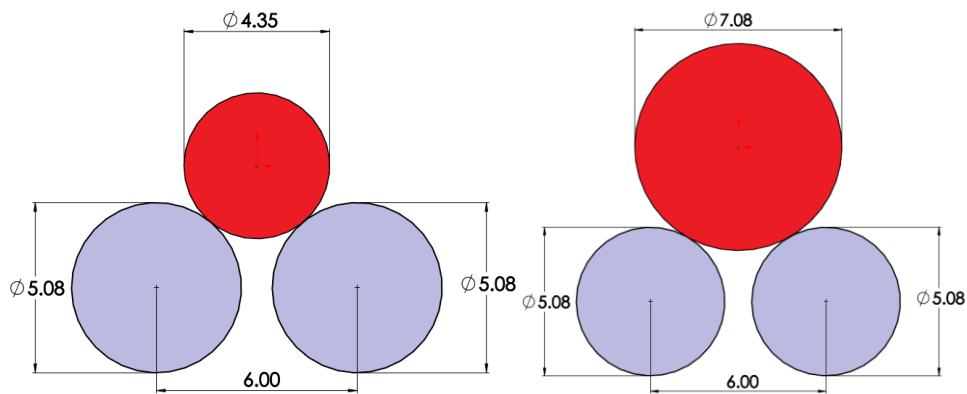


Figura 81. Disposición de los tomates de ambas calidades en los rodillos

Inicialmente se había optado por seleccionar los rodillos del catálogo de INTERROLL, una empresa europea cuyos representantes más cercanos se encuentran en México o Brasil, por lo tanto, se decantó por seleccionar el rodillo con todas sus características y dimensiones para manufacturarlos con la empresa CADENAS Y BANDAS pues se hizo un trabajo de averiguación en el comercio local y no se encontraron cilindros estandarizados, solo se hacen mediante pedido.

El rodillo transportador que se selecciona es de acero inoxidable pues se necesita que sea resistente a la corrosión para cumplir con la resolución 2674 de 2013 de procesamiento de alimentos,

adicionalmente al venir de un proceso de escaldamiento se va a contar con una alta temperatura, por estas razones se elige serie 1200 que se detallará a continuación.

Tabla 29.

Beneficios rodillos Serie 1200

Beneficio para el cliente	• Rodillo transportador de acero integral longevo, robusto (Casquillos de rodamiento prensados y zincados con ranura de rodadura templada) • Fácil colocación lateral por deslizamiento de cargas a transportar (Extremos de tubo redondeados) • Rangos de temperatura ampliados desde -28 °C hasta +90 °C • Técnica de transporte de envases con y sin accionamiento • Versión antiestática • Tapas de rodamiento de acero zincadas • Forma del rodamiento de bolas optimizada para rodillos transportadores, permite mayores desvíos laterales del rodamiento
Plataforma correspondiente	• Plataforma 1200

Nota: Adaptado de INTERROLL CORPORATE ART. (2007). Rodillos Transportadores. *INTERROLL*, 1, 148. Retrieved from <http://217.160.235.229/PDF-Arizti/INTERROLL-CR-CAT.pdf>

Se aprecia que este modelo brinda un alto rango de temperatura, la cual también depende de la velocidad de operación que para este caso es baja.

Tabla 30.

Datos técnicos rodillos Serie 1200

Capacidad de carga máx.	1200 N
Velocidad máx. de transporte	0,8 m/s
Rango de temperatura	-28 hasta +90 °C
Material cabeza	Acero, zincado
Rodamiento de bolas	Acero, ranuras de rodadura templadas

Nota: Adaptado de INTERROLL CORPORATE ART. (2007). Rodillos Transportadores. *INTERROLL*, 1, 148. Retrieved from <http://217.160.235.229/PDF-Arizti/INTERROLL-CR-CAT.pdf>

La capacidad de carga máxima brinda seguridad ya que se estará recibiendo una masa de 0.9652 kg cada 5 segundos, esto equivale a un peso de 9,469 N, unas 120 veces mayor de lo que se

necesita, además los supuestos para la capacidad de carga son una carga dinámica y uniformemente repartida.

Lo siguiente es determinar el tipo de rodillo, ya que esta empresa cuenta con rodillos con muelle en los ejes y rodillos con rosca interior.

Versión de eje: Eje de muelle

Material del tubo	Rodamiento de bolas	Ø de tubo mm	Ø de eje mm	Capacidad de carga máx. en N													
				con longitud de montaje en mm													
				100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	
Acero, zincado	Rodamiento de bolas templado	30 x 1,2	8	120	120	120	120	120	120	120	120	120	—	—	—	—	
		50 x 1,5	10	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	920	825	750	640	560	440

Versión de eje: Rosca interior

Material del tubo	Rodamiento de bolas	Ø de tubo mm	Ø de eje mm	Capacidad de carga máx. en N													
				con longitud de montaje en mm													
				100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	
Acero, zincado	Rodamiento de bolas templado	50 x 1,5	12	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1100	780	570	440	

Estándares

Versión de eje: Eje de muelle

Tubo		Rodamiento de bolas		Eje	
Material		Ø mm		Número de referencia	
Acero, zincado	30 x 1,2	Rodamiento de bolas templado		Ø 8 mm	
	50 x 1,5	Rodamiento de bolas templado		Ø 10 mm	
				1.2A2.J31.E9F	1.2MG.JAA.H97

Versión de eje: Rosca interior

Tubo		Rodamiento de bolas		Eje	
Material		Ø mm		Número de referencia	
Acero, zincado	50 x 1,5	Rodamiento de bolas templado		Ø 12 mm (M8 x 15)	
				1.2MH.JAA.L04	

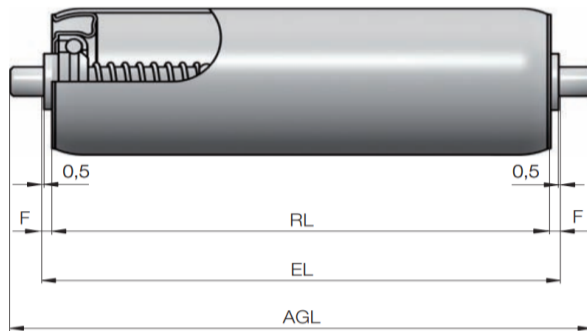
Figura 82. INTERROLL CORPORATE ART. (2007). Versiones de rodillos. Rodillos Transportadores. *INTERROLL*, 1, 148. Retrieved from <http://217.160.235.229/PDF-Arizti/INTERROLL-CR-CAT.pdf>

Se elige el tipo eje de muelle debió a la facilidad del montaje, lo siguiente será bajo la siguiente nomenclatura hacer el pedido a la fábrica, las medidas están en milímetros.

Tabla 31.

Medidas del rodillo para eje de muelle

RL	Longitud de referencia/longitud de pedido
EL	Longitud de montaje
AGL	Longitud total del eje
F	Longitud del grupo constructivo del rodamiento, juego axial



Ø de	Ø de	RL	AGL	F
8	30	EL -6	EL +16	4
10	50	EL -6	EL +20	4

Nota: Adaptado de INTERROLL CORPORATE ART. (2007). Versiones de rodillos. Rodillos Transportadores. *INTERROLL*, 1, 148. Retrieved from <http://217.160.235.229/PDF-Arizti/INTERROLL-CR-CAT.pdf>

El rodillo seleccionado tendrá el siguiente número de referencia 1.2MG.JAA.H97-344.

También existen distintos tipos de formas para transmitir potencia entre rodillos la empresa INTERROLL ofrece movimiento por correa plana, correa redonda, cadena, correa dentada y correa en v, por conveniencia en el montaje se eligió la correa redonda como método para transmitir potencia debido a factores como resistencia al calor, versatilidad y fácil mantenimiento, además de ser un material que no contamina.



Figura 83. Rodillo

Cabe resaltar que los modelos de INTERROLL se ciñen a la norma DIN 15207 y al ser hechos de acero inoxidable cumplen con la norma sanitaria.

4.4.2 **Diseño de correas.** El catálogo estandariza las gargantas de los rodillos a un radio de 5 mm, por lo el diámetro de la correa deberá ser menor, por recomendación de la empresa CADENAS Y BANDAS sugirió que el diámetro de correa más común para potencias medias y bajas es de 6 mm y junto con el software SOLIDWORKS se procedió a dimensionar la correa, se tendrá entonces una correa de 22.93 cm con 0.6 cm de diámetro.

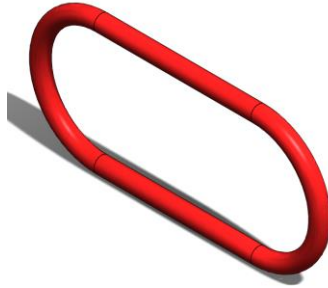


Figura 84. Correa redonda calibre 6 mm

Estas correas son termosoldables de material poliuretano y están avalados para contacto con alimentos, algunas vienen con un refuerzo interno para poder garantizar una mayor transferencia de potencia sin quebrarse y soportan temperaturas elevadas de trabajo de hasta 90°C en uso continuo.

Este tipo de correa transmitirá la potencia no solo entre rodillos sino también desde el eje del motor el cual se espera que posea una polea para poder conectarlos correctamente sin que la correa redonda se deslice.

4.4.3 Cepillos de nylon. Los cepillos de nylon deberán cumplir con la tarea de generar resistencia cuando los tomates pasen de un cilindro a otro, esta fricción sirve para ayudar a limpiar el tomate y retirar la cascara que no haya sido retirada por los rodillos, se plantea inicialmente ubicar 3 cepillos a lo largo del camino de rodillos para con esto asegurar la calidad del pelado, estos cepillos tienen la ventaja de que pueden ser fácilmente manufacturados a necesidad del cliente, en este caso se elige como referencia un cepillo vendido por AMAZON, con marco en PVC y con longitud de las cerdas de 3 pulgadas, se ha elegido una longitud de las cerdas moderadamente larga para que estas se flecten en vez de evitar que el tomate salte entre rodillos, más información del producto en el apéndice 25.

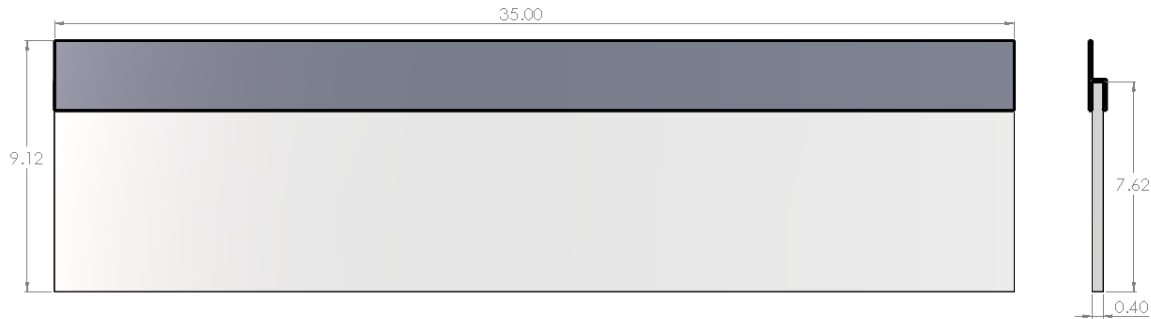


Figura 85. Dimensiones cepillo nylon

En el comercio local CEPILLOS INDUSTRIALES BOGOTA es una empresa dedicada a producir cepillos según la necesidad del cliente, en su página web se presentan los productos y servicios ofrecidos www.cepillosindustrialesbogota.com.

4.4.4 Selección de motor. La potencia del motor debe ser tal que supla los requerimientos para mover las 15 secciones donde estarán ubicados los tomates, esta potencia dependerá de la fuerza de oposición que en este caso será la fricción entre los rodillos y el tomate.

Inicialmente se tiene que el tomate de radio R estará en contacto con dos superficies, por lo tanto, existirán dos normales y dos fuerzas de rozamiento.

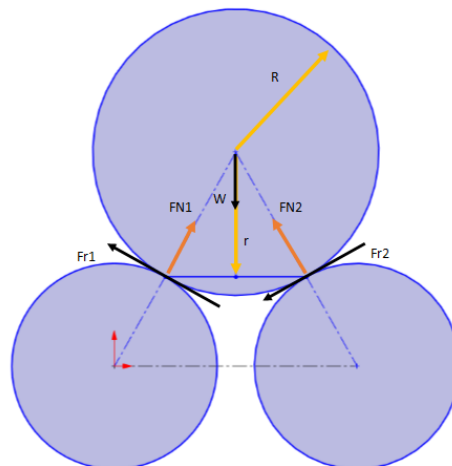


Figura 86. DCL tomate

Se procede a hallar las resultantes de las fuerzas normales y las fuerzas de fricción en un círculo de radio r, donde $fr_1+fr_2=fr$ y $fn_1+fn_2=fn$, cabe resaltar que la fuerza que hará girar el tomate es la de rozamiento pues la normal se anulará con el peso.

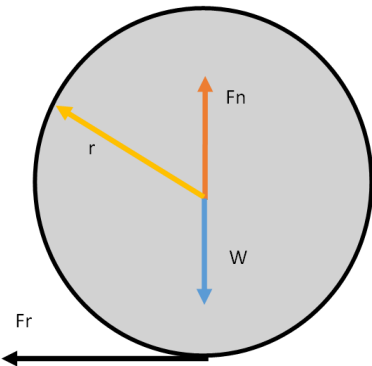


Figura 87. DCL simplificado

Tabla 32.
Calculo motor camino de rodillos

CALCULO CAMINO DE RODILLOS				
1 cantidad _{cavidad,1} = $\text{Trunc} \left[\frac{L}{D_1} \right]$				
2 $fr_1 = \mu_s \cdot n_1$				
3 $n_1 = w_1$				
4 $fr_{cavidad,1} = fr_1 \cdot cantidad_{cavidad,1}$				
5 $t_1 = fr_{cavidad,1} \cdot r_1 \cdot cavidades$				
6 $pot1 = t_1 \cdot \frac{rpm}{9.55}$				
7 $pot_{corregida,1} = pot1 \cdot 1.3$				
Datos de entrada				
#	Variable	Magnitud	Unidad	Descripción
	g	9.81	m/s^2	gravedad
	l	0.35	m/s^2	ancho de la cavidad
	rpm	64	rev/min	revoluciones por minuto
	mu_s	0.25	-	factor de friccion
	r_l	0.0308	m	radio de las fuerzas resultantes
	d1	0.07075	m	díametro tomate
	m1	0.1763	kg	masa tomate
	w1	1.73	N	peso tomate
	cavidades	15	unidades	cantidad de cavidades en el transportador

Datos de salida				
1	cantidad_cavidad_1	4	unidades	cantidad de tomates en la cavidad
2	fr_1	0.4324	n	fuerza de rozamiento del tomate
3	n1	1.73	n	fuerza normal
4	fr_cavidad_1	1.73	n	fuerza de friccion en la cavidad
5	t1	0.8	n-m	torque necesario
6	pot1	5.355	watts	potencia de accionamiento
7	pot_corregida_1	6.961	watts	potencia corregida

Como era de esperarse la potencia requerida por esta máquina es la más pequeña de todas las calculadas anteriormente principalmente porque el trabajo de los rodillos no es empujar a los tomates sino hacerlos girar sobre su propio eje, además de esto la cantidad de tomates que va a mover al mismo tiempo también es muy pequeña (aproximadamente 60 tomates al tiempo), por esta razón se ha elegido el motor industrial más pequeño que se encontró en el catálogo con referencia S37DR63S2 de la marca SEW el cual trabaja a 0.18 kW(1/4 Hp) y posee un reductor el cual otorga una velocidad de salida de 62 rpm, los datos del motor y la cotización de este se puede ver en los apéndice 26 y 28 respectivamente, el motor ha sido seleccionado con eje de 20x40 en dónde irá una correa redonda la cual transmitirá la potencia a los rodillos.



Figura 88. SEW EURODRIVE. (n.d.). Motorreductor Motorreductor para Motorreductor camino de rodillos S37DR63S2. Retrieved December 6, 2019, from CATALOGO MOTORREDUCTORES website: www.sew-eurodrive.com.co

4.4.5 Estructura camino de rodillos

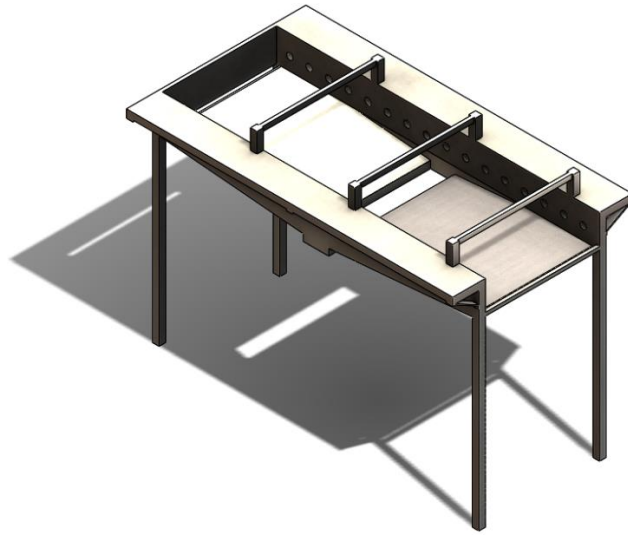


Figura 89. Estructura camino de rodillos

Como fue dicho anteriormente, la estructura debe cumplir la función de sostener los rodillos el material elegido es acero inoxidable 304 con perfiles de tubo cuadrado 2 x 2 cm calibre 14 y para los pasamanos superiores lamina de calibre 12.

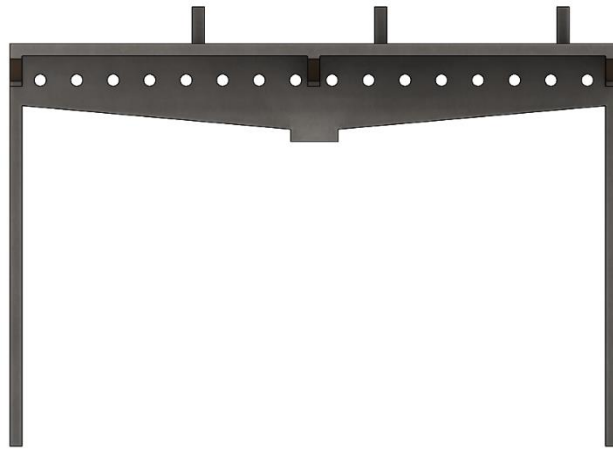


Figura 90. Vista frontal estructura camino de rodillos

En su parte superior deberá contener los soportes para los cepillos de nylon y debajo de los rodillos llevará una lámina calibre 16 la cual tendrá una inclinación de 5° que tendrá la función de recibir la piel del tomate procesado y concentrarlo en un punto para su posterior extracción y limpieza.

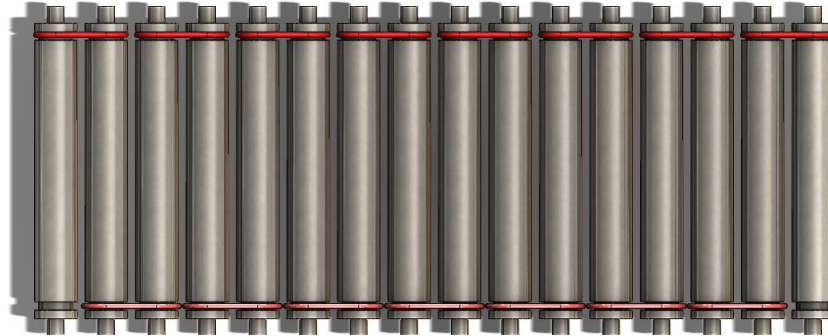


Figura 91. Disposición de los rodillos

Una razón de más para plantear este diseño es su fácil limpieza que se puede realizar con agua a presión, los cepillos pueden ser retirados al final de una jornada y de la misma forma retirar la suciedad.

4.5 Análisis económico

En esta sección se buscará aterrizar las ideas anteriormente expuestas otorgándoles un valor monetario, se resalta que esta máquina no conlleva a la elaboración de un producto terminado el cual pueda ser comercializado, sino que es la base para el posterior procesamiento según las distintas formas de consumo.

4.5.1 **Costo de adquisición.** A continuación, se presenta en la tabla 33 cada una de las cotizaciones que se obtuvieron de las distintas empresas, todas las cotizaciones están disponibles en la sección de apéndices.

Tabla 33.
Presupuesto

Empresa	Descripción	Total
PLADESAN	Banda transportadora, cadena de arrastre y accesorios	\$1,733,500
SPRAY	Boquillas y filtro	\$1,339,940
IHM	Bomba rotodinámica	\$676,872
HOMECENTER	Accesorios tubería	\$242,300
CADENAS Y BANDAS	Rodillos, chumaceras, correas	\$2,776,120
RESISTENCIAS	Resistencias eléctricas	\$380,800
ELECTRIEQUIPOS		
CASA HERMES	Sistema control resistencias	\$606,900
AMAZON	Cepillos nylon	\$169,600
SSIM	Materia prima y transformación	\$9,100,000
SEW	Motores	\$8,739,360
UIS	Diseño	\$5,000,000
Imprevistos (10%)		\$1,702,603
Total (IVA incluido)		\$32,467,995

4.5.2 **Costo de operación.** Los costos de operación estarán relacionados con la energía consumida por las resistencias eléctricas y los motores, estos se encuentran en la bomba rotodinámica, banda transportadora modular, escaldadora y camino de rodillos.

Con respecto a la resistencia eléctrica se tendrán en cuenta dos etapas las cuales son la puesta a punto y la operación en régimen, la puesta a punto será la potencia necesaria para calentar el agua a 95°C (aproximadamente 3000 s) y el consumo en régimen será la potencia en que la pendiente de la simulación sea positiva (aproximadamente el tiempo de encendido es el doble del tiempo apagado).

Al momento de cotizar los motorreductores con la empresa SEW hicieron la aclaración que el motor más pequeño con el que están trabajando es de 0.25 Kw, debido a que el que se había elegido (0.18 Kw) aun así los reductores de velocidad continúan vigentes.

Tabla 34.
Consumos energéticos

Ítem	Potencia [Kw]	Potencia para puesta a punto [Kwh]	Potencia en régimen [kwh]
Resistencia eléctrica	10	8.333	5
Bomba rotodinámica	1.11855	0	1.11855
Motorreductor banda transportadora modular	0.25	0	0.25
Motorreductor escaldadora	0.25	0	0.25
Motorreductor camino de rodillos	0.25	0	0.25
Total		8.333	6.86855

Suponiéndose una jornada laboral de 8 horas continuas por día y 6 días de trabajo a la semana se tendrá el presupuesto de consumo energético mensual.

$$\text{Consumo diario} = 1h * 8.333 \frac{Kw}{h} + 7h * 6.868 \frac{Kw}{h}$$

$$\text{Consumo diario} = 56.41 Kw$$

Se propone un valor aproximado del costo de energía eléctrica en un sector industrial de 481\$/kW.

$$\text{Costo diario de operación} = 56.41 kw * 481 \frac{\$}{kw}$$

$$\text{Costo diario de operación} = \$27.132 \$/dia$$

Mensualmente se tendrá el siguiente costo

$$\text{Costo mensual de operacion} = \text{costo diario de operacion} * 6 \frac{\text{dias}}{\text{semana}} * 4 \frac{\text{semanas}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo mensual de operacion} = 27.132 * 6 * 4$$

$$\text{Costo mensual de operacion} = \$651.185,5$$

Para tener una idea del precio que deberá tener del producto es necesario contar con el valor de la materia prima, a este deberá incluirse valor de transformación y un factor que cubra gastos administrativos, impuestos, depreciación y margen de ganancia el cual se plantea como 2 veces el precio de la suma de los costos de operación y materia prima. Se propone como valor de materia prima el expuesto en la justificación del problema (\$14.000 para segunda calidad y \$40.000 para primera) y que se tiene una venta de la producción asegurada.

$$\text{Costo}_{\text{materia prima}_{\text{mes}}} = \frac{\$14.000}{\text{canasta}} * \frac{\text{canasta}}{25 \text{ kg}} * 75 \frac{\text{kg}}{1 \text{ hora}} * 7 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} * 6 \frac{\text{dias}}{\text{semana}} * 4 \frac{\text{semanas}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo}_{\text{materia prima}_{\text{mes}}} = \$7'056.000$$

$$\text{Ingreso}_{\text{estimado}_{\text{mes}}} = (\text{Costo}_{\text{materia prima}_{\text{dia}}} + \text{Costo diario de operacion}) * 2$$

$$\text{Ingreso}_{\text{estimado}_{\text{mes}}} = (651.185 + 7'056.000) * 2$$

$$\text{Ingreso}_{\text{estimado}_{\text{mes}}} = 15'414.370 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Se idea contratar dos trabajadores para ejecutar labores de suministro de tomate a la máquina, limpieza y labores varias por un valor mensual de 1'200.000, además de esto se propone que el 10% de los ingresos sean destinados a labores de mantenimiento de la máquina.

$$\text{Egresos} = 2 * \text{empleados} + \text{Costo}_{\text{materia}} + \text{Costo}_{\text{operación}} + 0.1 * \text{Ingreso}_{\text{estimado}}$$

$$\text{Egresos} = 2 * 1'200.000 + 7'056.000 + 651.000 + 0.1 * 15'414.370$$

$$\text{Egresos} = \$11'648.437$$

Se procede a hacer el análisis de anualidades asumiendo como 2% el interés efectivo mensual.

$$inversion = ingresos * \left(\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n * i} \right) - egresos * \left(\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n * i} \right)$$

$$32'467.995 = 15'414.370 \left(\frac{(1+0.02)^n - 1}{(1+0.02)^n * 0.02} \right) - 11648437 \left(\frac{(1+0.02)^n - 1}{(1+0.02)^n * 0.02} \right)$$

$$n = 9.557$$

Se observa que en aproximadamente 10 meses se puede suplir el monto del préstamo, por lo tanto, después del mes 10 la maquina empezara a producir ganancias, lo cual la hace un negocio viable pues la maquina puede ser modificada para generar más producción logrando conseguir más ganancias.

4.6 Resultados

Se ha diseñado una máquina para cumplir con la demanda de procesamiento de 75 Kg/h de tomate, se espera que la velocidad de procesamiento de la maquina este determinado por la velocidad del sistema de lavado, pues los demás sistemas dependen de él y sistemas como el de escaldado están ya diseñados para una demanda mayor.

Esta máquina ayudará a solucionar la problemática de muchos campesinos de estar expuestos a la variación constante del precio del tomate en las centrales de abasto del país brindándoles la opción de añadirle valor a su producto al procesar la materia prima que en muchas ocasiones se pierde debido a que los costes de venta no son rentables para su recolecta.

Al final de una hora de procesamiento en régimen se espera tener por lo menos 75 kg de tomate de primera o segunda calidad con piel retirada, la cual al igual que muchas de las cascara de frutas

es rica en fibra, vitaminas y minerales, por lo cual podrá ser usada para mezclar en el alimento para cerdos. Otro uso popular que se le da a la piel de tomate es pulverizarla y adicionarla como suplemento alimenticio a peces y ganado pues el licopeno presente en ella mejora el color del producto, se espera que por cada hora de operación se obtengan alrededor de pues se tiene que el grosor promedio de la piel en las distintas especies de tomate es de unas 8 micras (Pagalday y Ruiz,1983, P.80) por lo tanto se calcula que se obtendrá alrededor de medio kilo de cascara de tomate por cada hora de procesamiento.

5. Conclusiones

Se diseñó una maquina compuesta principalmente por 4 sistemas para la remoción de la cascara del tomate de primera y segunda calidad la cual contribuye primariamente al sector agrícola el cual es uno de los focos de la actual administración del país, de esta manera la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander apporto al mejoramiento tecnológico de la región y del país.

Se desarrolló un método automatizado para retirar la piel del tomate de distintos tamaños para una demanda de 75 Kg/h en donde se hizo uso de calor y fricción para lograr tal resultado.

Se utilizó software CAD para prevenir errores en la generación de planos, además se hicieron simulaciones del circuito hidráulico y de la variación de la temperatura del agua en la tina de escaldado para constatar el comportamiento de lo diseñado, en las cuales se obtuvieron resultados positivos.

Se diseñó un sistema de herido de tomate simple, el cual es activado por el propio peso de la fruta garantizando siempre un contacto con las cuchillas.

Cada uno de los sistemas están diseñado de forma que se adapten entre sí y formen una línea de producción continua en donde el operario solo interactúe con la maquina en la tolva de alimentación pues a la salida del camino de rodillos se espera que exista una siguiente operación pues no es un producto terminado lo cual.

Se encontraron valores bajos para las potencias de los motores, esto debido a la baja demanda y bajo peso que tienen los tomates, para mejorar el consumo energético en el régimen de trabajo

se recomienda hacer uso de motores más pequeños con trenes de engranaje para modificar la velocidad.

Se pudo determinar el tiempo necesario para el escaldado del tomate a través del análisis del estado transitorio de la fruta, se recomienda hacer uso de una capa de aislante térmico para prevenir la pérdida de calor por convección con el ambiente y con esto poder seleccionar una resistencia de menor potencia.

El tomate en su capa más externa aumentará rápidamente su temperatura, debido a su baja conductividad térmica se necesitará de una mayor cantidad de tiempo para que la temperatura aumente en los nodos interiores.

Se diseñó un sistema de transporte de rodillos vivos a partir de datos de la empresa INTERROLL en el cual se usaron correas redondas para transmitir potencia, se recomienda el uso de guardas laterales que impidan el contacto directo entre el tomate y las correas pues el calor acorta el tiempo de vida útil.

Se calculó el precio aproximado de fabricación y uso de la maquina diseñada lo cual aterriza todas las ideas planteadas en un plano real, el costo total de la maquina es \$32'467.995 y el de operación \$651.185 al mes, además se evaluó el periodo de recuperación de la inversión el cual fue de 10 meses lo cual lo clasifica como una buena oportunidad de negocio.

El subsistema de recirculación no presenta gran variación de la potencia debido a pérdidas primarias y secundarias debido a los pocos componentes y a las cortas distancias de tubería que se tenían, estos pudieron haber sido despreciados generando un error mínimo.

Referencias Bibliográficas

- Cámara de Comercio de Bogotá CCB. (2015). Manual Tomate. In *Programa De Apoyo Agrícola Y Agroindustrial Vicepresidencia De Fortalecimiento Empresarial Cámara De Comercio De Bogotá*. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002751>
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). MECANICA DE FLUIDOS. In *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Chacón, M. E. (2013). Efectos sobre el ambiente del cultivo de tomate de mesa larga vida variedad bonarda bajo condiciones controladas de invernadero. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- CHOI, Y. y OKOS, M.R. 1986. Effects of temperature and compositions on the thermal properties of foods. In: Food engineering and process application. Vol I. Transport phenomena. Le Maguer, M. and Jelen, P. (eds). Elsevier Applied Science Co., Inc. New York. pp. 93-101.
- Col., M. y. (2013). *Composición nutricional del tomate*. Retrieved from <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/tomate.pdf>
- Histológica La Piel De Tomate En Relación Con Su Resistencia Mecánica Laura Pagalday, E. DE, Ruiz, M., & PAGALDAY Margarita RUIZ, L. (1983). *Ministerio De Agricultura, Pesca Y Alimentación Instituto Nacional De Investigaciones Agrarias*.
- José, P., & Guerrero, D. (2013). *Diseño de Máquinas II - 23037 Memorias de Clase*.
- LINK BELT. (1963). *Catalog 1000 and Equipment*.
- Pan, Z., Wang, Y., Atungulu, G., & Mchugh, T. (n.d.). *Development of infrared heating technology for tomato peeling*. (January 2015).