

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE
ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM, CON INNOVACIÓN EN LA
MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA
DESTILACIÓN**

ANDREA CATALINA ANGARITA GUERRERO

ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2012

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE
ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM, CON INNOVACIÓN EN LA
MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA
DESTILACIÓN**

ANDREA CATALINA ANGARITA GUERRERO

ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

OMAR ARMANDO GÉLVEZ AROCHA

Ingeniero Mecánico

Codirectora

ELENA E. STASHENKO

Ph. D Cromatografía

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Omar, por su apoyo y permanente acompañamiento durante la elaboración del presente proyecto, quien con su excelencia como docente forja el carácter del ingeniero.

A la profesora Elena, por abrirnos las puertas del CENIVAM y confiarnos una parte de su desarrollo.

Al profesor Jairo René, por su serenidad y su acompañamiento constante y certero.

A todas las personas que de alguna manera aportaron en este proyecto.

Andrea y Andrés.

DEDICATORIA

Este gran triunfo en mi vida, lo dedico principalmente, con el más grande amor y respeto, a la mujer que me enseñó a ganarme las cosas honestamente, y quien siempre me ha empujado a realizar lo que verdaderamente me gusta, mi madre siempre joven y hermosa, Martha Guerrero.

A Angela, por su gran cariño y dedicación como mejor amiga.

A Vivi, por ser mi apoyo moral más fuerte y constante.

A las dos juntas, por ser las mejores, más dulces y consentidoras hermanas de la vida.

A mi compañero de proyecto, amigo y compañero de la vida, sinónimo de alegría y ejemplo de perseverancia, mi gran amor, Andrés.

A mi gran amigo, experiencia viva, maestro de mi vida, Alfredo Parada Corrales.

A Oscar, Julio, Luisa, Walter, Juan José, Maye y Yaya, por aceptarme como hermana.

Andrea Catalina Angarita Guerrero.

DEDICATORIA

Dedicado a mi mamá Cecilia Jiménez y a mi papá Carlos Silva, excelentes seres humanos que han comprendido y apoyado mi autonomía, que han luchado por mi realización personal por encima de nuestros defectos, que han sabido ser los padres que toda persona necesita, con libertad, buen criterio y amor, gracias por creer en mi.

A Carlos y Christian, saben lo mucho que los quiero.

A toda mi familia por su apoyo económico y moral, su confianza y su buena fe.

A Andrea, excelente amiga, ser humano, confidente, compañera de proyecto, complemento de mi corazón, pocos amigos más hacen falta con su compañía.

A la naturaleza, fuente de inspiración, esperanza, fortaleza y principal motivación para mi carrera, quien le dio la vida a estas personas maravillosas que son mi mundo, y a quien le devolveré con creces los favores recibidos.

Andrés Steven Silva Jiménez.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	19
1. MARCO TEÓRICO DE LA DESTILACIÓN POR ARRASTRE POR VAPOR ENFOCADO AL DISEÑO DE ESTE PROTOTIPO.....	21
1.1 ACEITE ESENCIAL.....	21
1.2 ACEITES DE INTERÉS.....	23
1.2.1 Identificación de las especies seleccionadas y sus aceites.....	24
1.2.2 Clasificación.....	24
1.2.3 Localización y profundidad del aceite.....	28
1.3 FUNDAMENTOS Y FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA DE LA DESTILACIÓN POR ARRASTRE POR VAPOR.....	31
1.3.1 Destilación por arrastre por vapor y principios de la termodinámica del proceso.....	31
1.3.2 Arrastre por vapor: factores que inciden en la destilación.....	38
1.3.3 Clasificación y manipulación de factores para este proyecto.....	57
2. PROCESO BÁSICO DE DISEÑO.....	59
2.1 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES Y RESTRICCIONES.....	59
2.2 DISEÑO CONCEPTUAL Y FACTIBILIDAD DE LOS DISEÑOS.....	61
2.3 DISEÑO FACTIBLE.....	63
2.3.1 Manejo de los factores.....	65
3. DISEÑO DE DETALLE: DISEÑO TÉRMICO DEL DESTILADOR.....	72
3.1 PROPORCIONES: ALTURA-ÁREA TRANSVERSAL.....	72
3.2 RANGOS DE VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DE EMPACADO.....	73
3.3 DISEÑO DEL DISTRIBUIDOR DE VAPOR.....	75
3.3.1 Tipo de distribuidor.....	75
3.3.2 Dimensionamiento del distribuidor.....	76
3.4 DISTRIBUIDOR CIRCUNFERENCIAL DE PRESIÓN.....	97
3.4.1 Dimensionamiento del canal y orificios.....	98
3.5 TUBERÍA FLEXIBLE.....	101
3.5.1 Selección.....	102
3.6 AISLAMIENTO TÉRMICO.....	103
3.6.1 Selección.....	103
4. DISEÑO DE DETALLE: DISEÑO MECÁNICO.....	105

4.1	DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR DE LA ENVOLVENTE	105
4.2	BRIDAS	107
4.2.1	Brida superior	107
4.2.2	Brida inferior	113
4.3	DISEÑO DE LAS TAPAS	121
4.3.1	Tapa Superior.....	121
4.3.2	TAPA INFERIOR.....	123
4.4	PRENSA.....	125
5.	CONCLUSIONES.....	137
6.	OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS.....	139
	BIBLIOGRAFÍA.....	141
	ANEXOS	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspecto general de plantas del género CYMBOPOGON	25
Figura 2. Aspecto general de las plantas del género LIPPIA	26
Figura 3. Aspecto del género SWINGLEA	27
Figura 4. Glándulas de aceite que contienen los aceites esenciales, de forma superficial en una hoja.....	30
Figura 5. Imagen de la superficie de una hoja de menta en su estado natural, momentos previos al contacto con el vapor de agua.....	34
Figura 6. Foto de la superficie de una hoja de lavanda, con sus glándulas aceitosas en color púrpura en su estado natural, momentos previos al contacto con el vapor de agua	35
Figura 7. Aspecto de las glándulas de aceite luego del contacto con el vapor de agua ...	36
Figura 8. Secado del material	40
Figura 9. Densidad de empaçado	41
Figura 10. Comportamiento de la extracción de aceite respecto a la densidad de empaçado.....	43
Figura 11. Curva característica de destilación para plantas categoría “muy absorbentes”	46
Figura 12. Curva característica de destilación para plantas categoría “ligeramente absorbentes”.....	48
Figura 13. Evolución del diseño	61
Figura 14. Esquema diseño final.....	64
Figura 15. Partes del destilador	65
Figura 16. Solución para la densidad de empaçado	66
Figura 17. Distribuidor circunferencial de presión	68
Figura 18. Flujo de vapor antes y después de usar el distribuidor circunferencial de presión.....	68
Figura 19. Esquema de la posición del distribuidor de vapor y de su flujo homogéneo	75
Figura 20. Esquema del distribuidor de vapor tipo círculo-cruz.....	76
Figura 21. Flujograma para el cálculo del flujo másico de vapor, para plantas tipo “Muy absorbentes”.....	78
Figura 22. Flujograma para el cálculo del flujo másico de vapor, para plantas tipo “Ligeramente absorbentes”.....	83
Figura 23. Esquema diámetro medio de la circunferencia del distribuidor y longitud de los tubos en cruz.....	90
Figura 24. Esquemas de aspersión del vapor de acuerdo con la inclinación de las perforaciones en los tubos en cruz.	92
Figura 25. Esquema de ángulos y distancias para el cálculo de la inclinación de los orificios del distribuidor	92
Figura 26. Esquemas de aspersión del vapor para el tubo circular de acuerdo con la disposición de los orificios	94
Figura 27. Esquema de ángulos y distancias para el cálculo de la inclinación de los orificios del distribuidor.	95

Figura 28. Esquema de la homogeneidad de la distribución del vapor sobre la cara inferior de la carga.....	96
Figura 29. Modelamiento final del distribuidor del vapor	97
Figura 30. Proporciones para la determinación del tamaño del distribuidor	98
Figura 31. Relación diámetro 2/altura del distribuidor	99
Figura 32. Distribución y tamaños finales de los huecos del distribuidor	100
Figura 33. Esquema de la conexión para el vapor caldera-destilador	101
Figura 34. Selección por catálogo de tubería flexible	102
Figura 35. Imagen de catálogo para el aislamiento seleccionado	104
Figura 36. Croquis del tipo de brida y del montaje del empaque seleccionados	107
Figura 37. Dimensiones básicas para la longitud del tornillo	111
Figura 38. Selección perno	112
Figura 39. Croquis del tipo de brida y del montaje del empaque seleccionados	114
Figura 40. Croquis del tipo de brida y del montaje del empaque seleccionados para brida inferior-inferior	116
Figura 41. Dimensiones básicas para la longitud del tornillo.....	119
Figura 42. Selección por catálogo del perno	120
Figura 43. Esquema de tapa tipo toriesférico o esféricamente apernado.....	122
Figura 44. Parámetros iniciales para el cálculo del espesor de la tapa toriesférica superior	122
Figura 45. Resultados del cálculo del espesor de la tapa toriesférica superior	123
Figura 46. Esquema de tapa tipo toriesférico o esféricamente apernado.....	124
Figura 47. Parámetros iniciales para el cálculo del espesor de la tapa toriesférica inferior	124
Figura 48. Resultados del cálculo del espesor de la tapa toriesférica inferior	125
Figura 49. Prensa	126
Figura 50. Pasos del proceso de diseño para las dimensiones bases de la prensa.....	127
Figura 51. Imagen software EES programado para el cálculo del tornillo de potencia ...	128
Figura 52. Elementos ensamblados al tornillo.....	130
Figura 53. Detalle elementos ensamblados al tornillo	130
Figura 54. Barra para extraer el fondo compactador.....	131
Figura 55. Varilla para girar la barra de extracción y/o el fondo compactador	132
Figura 56. Fondo compactador.....	132
Figura 57. Extensión fondo compactador.....	133
Figura 58. Detalle barras de apoyo a la extracción del fondo compactador	133
Figura 59. Detalle pestañas del fondo compactador	134
Figura 60. Tuerca	135
Figura 61. Imagen software EES programado para el cálculo de altura de la tuerca	135

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen clasificación sencilla de especies vegetales de interés	28
Tabla 2. Profundidad frecuente del aceite esencial según la parte de la planta	29
Tabla 3. Resumen comparativo superficies <i>Muy y ligeramente absorbentes</i>	50
Tabla 4. Correspondencia entre los factores y los distintos efectos	1
Tabla 5. Descripción del diseño conceptual y factibilidad de los diseños (evolución del diseño).....	62
Tabla 6. Parámetros máximos de diseño del distribuidor para el calentamiento	79
Tabla 7. Resultados de requerimientos máximos de calentamiento.....	80
Tabla 8. Parámetros máximos de diseño del distribuidor para la extracción	80
Tabla 9. Resultados de requerimientos máximos de extracción.....	81
Tabla 10. Resultados del cálculo de flujo másico de vapor ideal.....	82
Tabla 11. Parámetros para cálculo del tiempo de calentamiento	84
Tabla 12. Resultados de requerimientos máximos de calentamiento.....	85
Tabla 13. Parámetros para cálculo del tiempo de extracción	85
Tabla 14. Resultados de cálculos para tiempo de extracción.....	87
Tabla 15. Cálculo del diámetro interno del distribuidor de vapor	88
Tabla 16. Medidas para la ubicación (inclinación respecto a la vertical) de los 4 orificios por tubo	93
Tabla 17. Parámetros para el diseño de la envolvente	105
Tabla 18. Parámetros iniciales para el diseño de la brida superior	108
Tabla 19. Resultados diseño de la brida superior	110
Tabla 20. Parámetros iniciales para el diseño de la brida inferior-superior	114
Tabla 21. Resultados diseño de la brida inferior-superior	115
Tabla 22. Parámetros iniciales para el diseño de la brida inferior-inferior	116
Tabla 23. Resultados diseño de la brida inferior-inferior	117
Tabla 24. Resultados finales para la brida inferior.	117
Tabla 25. Algunas dimensiones del tornillo	128

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Velocidades razonables para el flujo de vapor en tuberías.....	87
--	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. SELECCIÓN E INSTALACIÓN DEL CONTROL MANUAL DE VAPOR: ROTÁMETRO-VÁLVULA.....	143
Anexo B. SIMULACIONES DE FLUJO PARA DIMENSIONAMIENTO DEL DISTRIBUIDOR CIRCUNFERENCIAL DE PRESIÓN	146
Anexo C. CONSIDERACIONES MÍNIMAS DE INSTALACIÓN	150
Anexo D. SELECCIÓN TERMÓMETRO Y MANÓMETRO	152
Anexo E. SIMULACIONES	157
Anexo F. PLANOS	180
Anexo G. MANUAL DE OPERACIÓN	100
Anexo H. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO	58
Anexo I. REQUERIMIENTOS DE MATERIAL.....	59

RESUMEN

TÍTULO

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM, CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN.¹

AUTOR (ES)

ANDREA CATALINA ANGARITA GUERRERO
ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ²

CONCEPTOS CLAVES

Maniobrabilidad, factores incidentes en la destilación, condiciones óptimas de destilación, manipulación de los factores, normas mecánicas y de ingeniería.

DESCRIPCIÓN

El proceso de desarrollo de la industria de los aceites esenciales llevado a cabo por el CENIVAM, requiere procesos de innovación e ingeniería que busquen permanentemente la competitividad del sector y su sostenibilidad social y ambiental.

Este desarrollo, técnicamente puede separarse en dos áreas: destilación y refinación. El presente proyecto hace parte de la primera, en donde la ingeniería mecánica juega un papel fundamental, realizando propuestas que aborden las distintas problemáticas de los equipos, tanto en su maniobrabilidad como en su desempeño.

Este prototipo entonces, se basó en algunas experiencias de maniobrabilidad de la maquinaria ya conocida, buscando dar un salto tecnológico basado en dichas experiencias, logrando eliminar accesorios y estructuras metálicas costosas y de difícil manejo, mejorando los niveles de seguridad laboral para los operarios y logrando una instrumentación más adecuada.

Posteriormente, se profundizó en el manejo teórico de la extracción de aceites esenciales por arrastre por vapor, estudiando a profundidad los factores que inciden en el proceso y buscando soluciones para permitir niveles más altos en su manipulación, es decir, brindando las condiciones óptimas para la destilación de cualquier combinación de carga, tanto para distintas cantidades, especies vegetales, densidades de empaqueo y demás.

Para esto se desarrollaron soluciones mecánicas sin soporte eléctrico, electrónico ni digital, que facilitan la comprensión y manipulación en campo por parte del personal poco capacitado y que, en conjunto, permiten el mencionado alto nivel de manipulación de los factores, algo que hasta el momento no se había logrado.

Por último, se realizó el dimensionamiento y se aplicaron las normas mecánicas y de ingeniería requeridas para tales componentes mecánicos.

En ese orden de ideas está planteado el presente libro, que detalla lo más relevante en este proceso de investigación y desarrollo.

¹ Trabajo de grado

² Facultad: Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela: Ingeniería Mecánica. Director: Omar Armando Gélvez Arocha. Codirector: Elena E. Stashenko

ABSTRACT

TITLE

DESIGN OF A PROTOTYPE DISTILLER FOR THE ESSENTIAL OILS EXTRACTION IN THE CENIVAM, WITH INNOVATION IN THE HANDLING AND EFFICENCY ENHACEMENT³

AUTHOR (S)

ANDREA CATALINA ANGARITA GUERRERO
ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ⁴

KEY CONCEPTS

Handling, factors that affect the process, optimal condition for the distillation, factors manipulation, mechanical and engineering standards.

DESCRIPTION

The development process of the essential oils industry conducted by the CENIVAM, requires innovation and engineering processes, constantly seeking the sector's competitiveness and its social and environmental sustainability.

This development technically can be separated into two areas: distillation and refining. This project is part of the first, where mechanical engineering plays a key role in making proposals that address the various problems of equipment, both in handling and in their performance.

This prototype then was based on some experiences in handling already known machinery, seeking a technological leap based on these experiences, removing costly accessories and metallic structures, and improving levels of job security for workers, and achieving appropriate instrumentation.

Subsequently on the basis of the theory extraction of essential oils by steam drag, the factors that affect the process were studied in depth and seeking for solutions to enable higher levels of handling were sought, ie, providing optimal conditions for the distillation in any combination of load, both for different amounts, plant species, and other packing densities.

For this, we developed mechanical solutions free of electrical, electronic or digital support, to facilitate understanding and handling in the field by the poorly trained and that, together, allow high-level manipulation of the mentioned factors, which so far had not been achieved.

Finally, the sizing and the mechanical and engineering standards required for such mechanical components were applied.

This book raised in that vein, which details the most relevant aspects of this research and development process.

³ Degree Work

⁴ Faculty: Physical-mechanical engineerings. School: Mechanical engineering. Director: Omar Armando Gélvez Arocha. Codirector: Elena E. Stashenko

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto de grado es el lograr dar un salto tecnológico en el diseño de destiladores en el CENIVAM. En numerosos proyectos de grado anteriores se ha abordado ya la comparación entre las distintas técnicas de destilación, se han presentado pros y contras, y por último se han escogido algunos de los métodos, con destiladores que incluso son funcionales para varias de las técnicas, siendo tradicionalmente las técnicas *hidrodestilación* y *arrastre por vapor*, las más usadas. Este proyecto en cambio, en la búsqueda de un avance significativo, se enfoca en el segundo método, pues ha sido muy exitoso, con el objetivo de poder profundizar su matemática y la prestación de su uso, haciendo un manejo más perfeccionista de la teoría de esta técnica de destilación, con sus dimensiones, con su formas y con la disposición del equipo para permitir mejoras considerables en su operación y manipulación.

Lo anterior, de ningún modo intenta restar mérito a los proyectos de grado precedentes, en cambio, desea resaltar que esos trabajos son la base para el presente diseño, pues gracias a ellos existe conocimiento propio sobre la técnica de extracción, sobre la construcción, sobre la manipulación y sobre el manejo matemático. Es así que el presente es, como conjunto, un avance fundado en los anteriores proyectos.

La total comprensión de este diseño, la precisión en el desarrollo matemático y la capacidad de enfrentar las dificultades con creatividad serán la clave para que este prototipo logre competitividad comercial, lo cual sería el éxito último de este avance tecnológico. Esto es precisamente, lo que debe hacer el equipo como

prototipo; debe ser probado y ajustado, para que la práctica valide el desarrollo teórico con el cual se desarrolló.

1. MARCO TEÓRICO DE LA DESTILACIÓN POR ARRASTRE POR VAPOR ENFOCADO AL DISEÑO DE ESTE PROTOTIPO

Como se ha mencionado, la teoría que sustenta el presente diseño busca profundizar el manejo matemático de la técnica *arrastre por vapor* y mejorar significativamente la facilidad en la manipulación del equipo. Esta teoría es la base del diseño térmico del destilador, el cual, como se verá en los correspondientes capítulos de este documento, nos arroja las proporciones, diámetros de flujo, velocidades de vapor y demás aspectos que influyen en la calidad de la destilación.

El presente no abarca teoría distinta a la necesaria para este diseño, pues tal ya ha sido tema ampliamente desarrollado en los demás proyectos ya mencionados.

1.1 ACEITE ESENCIAL

A continuación se exponen algunas definiciones conocidas y características importantes para los aceites esenciales, además se tratan los aceites que son de verdadero interés para este proyecto:

- Aceite esencial es la parte del metabolismo de un vegetal, que conforman generalmente terpenos, que están asociados o no a otros compuestos, la mayoría de ellos volátiles y que generan en conjunto el olor de dicho vegetal. (Bandoni, 2000).
- El aceite es una mezcla de componentes volátiles, productos del metabolismo secundario de las plantas, en cuya composición interviene una posición de hidrocarburos de la serie polimetilénica del grupo de los

terpenos que responden a la fórmula $(C_5H_8)_n$ junto con otros compuestos casi siempre oxigenados (alcoholes, ésteres, éteres, aldehídos, y compuestos fenólicos), que son los que transmiten a los aceites el aroma que los caracteriza. (Stashenko, E. 1995).

- A los componentes (en este caso metabolitos secundarios volátiles), obtenidos por técnicas extractivas y de “headspace”, se les llama extractos y “fracciones volátiles”, respectivamente. Sin embargo, a la mezcla de sustancias obtenida por hidrodestilación, raspado y prensado en el caso de cítricos, y arrastre por vapor se les nombra “aceite esencial” (AE). (Medina, 2004).
- Los metabolitos secundarios volátiles son compuestos orgánicos que aparentemente no tienen una función directa en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos compuestos generalmente no juegan un rol directo en los procesos de fotosíntesis, respiración, transporte de solutos, síntesis de proteínas, asimilación de nutrientes o la formación de carbohidratos, proteínas, lípidos y similares. (Ikan, 1991; Kaufman, 1999).
- Los metabolitos secundarios se diferencian de los primarios (aminoácidos, nucleótidos, azúcares, etc.), en que no tienen una restricción en la distribución en el reino de las plantas. Este grupo de metabolitos a menudo se encuentra solamente en una especie de plantas o en un grupo de especies relacionadas, mientras que los metabolitos primarios se encuentran en todo el reino vegetal. (Gros, 1985; Toiz, 2002).

En condiciones ambientales los aceites son líquidos menos densos que el agua, pero más viscosos que ella. Poseen un color en la gama del amarillo hasta ser transparentes, en algunos casos llegan a ser inflamables, no son tóxicos, aunque pueden provocar alergias en personas sensibles a algunos

terpenoides. Son inocuos, mientras la dosis suministrada no supere los límites de toxicidad. Sufren degradación química en presencia de la luz solar, del aire, del calor, de ácidos y álcalis fuertes, generan oligómeros de naturaleza indeterminada. Son solubles en disolventes orgánicos comunes.

Generalmente son mezclas complejas de hasta más de 100 componentes que pueden ser:

- Compuestos alifáticos de bajo peso molecular: alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos.
- Mono terpenos (C_{10})
- Sesquiterpenos (C_{15})
- Fenilpropanos

En su gran mayoría son de olor agradable, aunque existen algunos de olor relativamente desagradable, como por ejemplo los de ajo y cebolla, que tienen algunos compuestos azufrados.

1.2 ACEITES DE INTERÉS

Este proyecto, como parte de la profundización teórica, ha limitado su desarrollo a siete plantas, sobre las cuales se hace todo el desarrollo matemático. La selección de estas plantas ha sido el resultado práctico del CENIVAM, quien ha podido constatar el alto grado de competitividad de sus aceites en el mercado nacional, según la información proporcionada por el mismo centro.

Dichas plantas son:

- *Cymbopogon nardus*
- *Cymbopogon flexuosus*
- *Cymbopogon citratus*

- *Cymbopogon martinii*
- *Lippia origanoides*
- *Lippia alba*
- *Swinglea glutinosa*

La descripción de cada una de las especies proporciona datos más detallados acerca de cuáles son las ventajas competitivas y las características especiales que justifican el interés del Centro en su mejoramiento.

1.2.1 Identificación de las especies seleccionadas y sus aceites. El interés, ahora, es realizar la identificación de las especies a trabajar, para lo cual revisamos su clasificación taxonómica, sus características principales y algunos datos de interés.

El conocimiento y el manejo de las características de las especies permiten el empleo adecuado de los factores que inciden en la eficiencia de la destilación de los aceites (ver numeral 1.3). En esta sección se nombran características como la localización del aceite de forma informativa, a modo de identificación de las especies y, en secciones posteriores, se desarrolla su teoría.

1.2.2 Clasificación. Estas especies, como puede observarse, corresponden a tres distintos géneros:

- CYMBOPOGON: herbáceas de la familia de la gramíneas, son muy conocidas y distinguidas por su suave y agradable aroma; crecen en todos los climas y lugares, principalmente en las regiones tropicales de donde son originarias, son cultivadas por su aceite esencial de olor a limón y sus propiedades medicinales. En la Figura 1 se observa un representante de

este género, con el aspecto general que comparte con todos su congéneres.

Figura 1. Aspecto general de plantas del género CYMBOPOGON



Fuente: autores del proyecto.

Sus aceites esenciales son usados principalmente en perfumería, pero tiene otras aplicaciones comunes como aromatizantes para jabones, detergentes, limpiadores caseros, y como componente activo para productos técnicos e insecticidas. Ocasionalmente se usa también en composiciones saborizantes de cereza, cítricos y jengibre. También es empleada como constituyente de cremas anti-mosquito.

- LIPPIA: es un género botánico de plantas con flores con unas 200 especies pertenecientes a la familia de las verbenáceas. Es nativo de las regiones tropicales y subtropicales de África y Sudamérica. Sus capacidades medicinales son ampliamente reconocidas y de allí el interés en destilar sus aceites.

Dentro de los usos principales del aceite esencial figuran los siguientes: como saborizante en cárnicos reemplazando a la hierba seca, ingrediente de salsas u otros condimentos, agente antibacterial y antioxidante en alimentos semiprocesados; los AE “Aceites Esenciales” y extractos ricos en este compuesto como los de algunos quimiotipos de orégano, tomillo e inclusive el de *Lippia origanoides* se han usado como biocidas orgánicos⁵.

Dentro de otros usos, no menos importantes, está el de preparados homeopáticos contra afecciones respiratorias y digestivas.

En la Figura 2 se observa un representante de este género, con el aspecto general que comparte con todos su congéneres.

Figura 2. Aspecto general de las plantas del género LIPPIA



Fuente: autores del proyecto.

- SWINGLEA: es un género monotípico de plantas, perteneciente a la familia *Rutaceae*. Su única especie: *Swinglea glutinosa*, es originaria de Asia. El uso más típico de este género, que no se relaciona con su aceite, es el de

⁵ Tomado de Trabajo de grado Carlos Ruiz Nova.

plantarlo para *cerca viva*, es decir para delimitar espacios y terrenos, pues tiene gran cantidad de ramas y forraje espeso que no permiten el paso sino de especies menores.

Aunque esta planta no es autóctona, se ha adaptado completamente a las condiciones geobotánicas del país. Es un arbusto espinoso, de follaje brillante, compacto y de flores blancas parecidas a los azahares.

Su fruta llamada comúnmente “Limón Africano”, presenta un tamaño promedio de 10-12 cm de largo y no es comestible.

En sus tallos se han encontrado alcaloides acidrónicos, que presentan actividad antiplasmoidal sobre *Plasmodium falciparum*⁶

En la Figura 3 se observa un representante de este género, con el aspecto general que comparte con todos su congéneres y un ejemplo de cerca viva.

Figura 3. Aspecto del género SWINGLEA



Fuente: autores del proyecto.

⁶ Trabajo de grado José Domingo Medina Sarmiento.

Tabla 1. Resumen clasificación sencilla de especies vegetales de interés

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN EN LA REGIÓN	GÉNERO
<i>Cymbopogon nardus</i>	Citronella	<i>Cymbopogon</i>
<i>Cymbopogon flexuosus</i>	Limonaria	
<i>Cymbopogon martinii</i>	Palmarrosa	
<i>Cymbopogon citratus</i>	Limonaria	
<i>Lippia origanoides</i>	Orégano	<i>Lippia</i>
<i>Lippia alba</i>	Pronto alivio	
<i>Swinglea glutinosa</i>	Limón africano	<i>Swinglea</i>

Fuente: autores del proyecto.

1.2.3 Localización y profundidad del aceite. Un aspecto sumamente importante en la teoría de la extracción de aceites por arrastre por vapor, consiste en conocer en qué lugares de la planta a exhaustar se localiza el aceite de interés.

En general, los aceites esenciales se almacenan en glándulas aceitosas, venas, sacos de aceite, o cabellos glandulares de donde sólo pueden ser removidos utilizando el vapor de agua, el cual debe atravesar los tejidos vegetales de la superficie expuesta al mismo. Dichos tejidos están ubicados en cualquier parte de la planta, por ejemplo, en las flores (rosa, ylang-ylang, geranio), en la cáscara del fruto (naranja, limón), en las hojas (eucalipto, limonaria, ciprés), en la corteza (canela, cebra), en las semillas (cardamomo, anís, eneldo) y/o en las raíces (sándalo, valeriana)⁷.

La Tabla 2 muestra la profundidad a la que frecuentemente se encuentran los aceites esenciales según la parte de la planta, de acuerdo con una terminología que

⁷ Muñoz, F., Plantas medicinales y aromáticas: estudio, cultivo y procesado.

aproxima la localización más importante de los aceites de forma conveniente para el análisis de la técnica de extracción.

Tabla 2. Profundidad frecuente del aceite esencial de según la parte de la planta

PARTE DE LA PLANTA	PROFUNDIDAD
HOJAS	SUPERFICIAL
RAMAS	SUPERFICIAL
	SUBCUTÁNEO
TALLOS	SUBCUTÁNEO
RAICES	SUPERFICIAL
	SUBCUTÁNEO
FRUTOS	SUPERFICIAL
	SUBCUTÁNEO
CORTEZA	SUPERFICIAL
	SUBCUTÁNEO

Fuente: autores del proyecto.

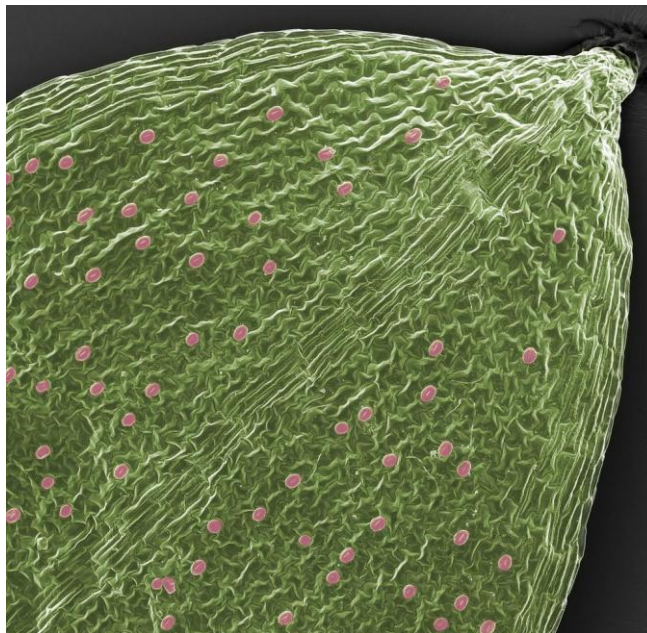
Se resalta la localización HOJAS-SUPERFICIAL, porque ésta es la ubicación del aceite para las siete especies de interés; todas son predominantemente hojas, con poca rama y/o tallo, y su ubicación en todo caso es cutánea.

El aspecto que determina la profundidad del aceite es el grosor y la dureza de la parte de la planta. Hay cortezas delgadas, ricas en aceite, porosas y suaves como las de la canela. En este caso se considera que el aceite es superficial. Existe, por otra parte, el caso de la corteza de pino, dura y gruesa, pobre en aceites, gruesa y difícil de manejar.

¿Qué es aceite superficial y subcutáneo?

Un aceite superficial es un aceite que está contenido en la superficie externa de la planta. Usualmente, estos aceites son secretados por glándulas que pueden ser vistas en imágenes ampliadas alrededor de 50 veces. Los aceites de menta, lavanda y de cáscaras de cítricos son también aceites de este tipo, aunque los últimos suelen ser extraídos más por otros métodos mecánicos distintos al arrastre por vapor. La teoría de los factores que inciden en la calidad de la destilación profundiza este tema (ver numeral 1.3). La Figura 4 muestra una fotografía en la cual se pueden visualizar las glándulas de aceite en una hoja, glándulas encargadas de la secreción de los aceites esenciales⁸.

Figura 4. Glándulas de aceite que contienen los aceites esenciales, de forma superficial en una hoja



Fuente: <http://es.paperblog.com>

⁸ Libro Tim Denny.

1.3 FUNDAMENTOS Y FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA DE LA DESTILACIÓN POR ARRASTRE POR VAPOR.

Un desarrollo teórico de este método de destilación exige la consideración y el manejo de todos aquellos factores que inciden en él. Los numerales correspondientes a este título abordan esta teoría de forma que permite realizar los cálculos y asumir los criterios de forma práctica en los correspondientes capítulos de diseño, que serán expuestos más adelante.

Gran cantidad de la teoría que a continuación se menciona ya es conocida ampliamente, pero al visualizar e inmiscuirse verdaderamente en el tema, se puede reconocer que es muy necesario no solo mencionarla, sino pensarla y analizarla desde el punto de vista del proceso ocurrido al interior del destilador.

1.3.1 Destilación por arrastre por vapor y principios de la termodinámica del proceso. La destilación por arrastre por vapor es una técnica de extracción considerada como una de las eficientes entre las conocidas, esto por los buenos porcentajes de aceite que recupera del material vegetal, y por los relativos bajos precios, en comparación con otras técnicas, si bien, al igual que todo, tiene sus ventajas y sus desventajas comparado con estas otras técnicas.

1.3.1.1 Calor latente. Las moléculas de cualquier líquido están en movimiento constante a velocidades directamente dependientes de la temperatura. El aumento de la fuerza del movimiento de algunas de estas moléculas localizadas sobre la superficie, provocado por una adición de energía desde el exterior puede provocar su vaporización.

Es decir, el cambio de estado demanda absorción de energía, la cual es tomada en forma de calor. En primer lugar, este calor es tomado del cuerpo de líquido al cual pertenecía la molécula. Si esta energía no es repuesta posteriormente por una fuente externa, el líquido se enfriará.

La cantidad de calor requerido para vaporizar una unidad de masa de cualquier líquido, sin elevar la temperatura del vapor por encima de la del líquido es llamada CALOR LATENTE de vaporización. Cada uno de los componentes de interés para el presente proyecto tiene sus propios valores de calor de vaporización. Este proceso es totalmente reversible.

1.3.1.2 Presión de vapor del aceite. Debido al movimiento de las partículas, todos los componentes con puntos de ebullición determinable emiten partículas de vapor desde sus superficies. Si el vapor creado se encuentra confinado, las partículas de vapor ejercerán presión contra las paredes del recipiente. Tal presión está relacionada directamente con la temperatura a la que se encuentre y puede ser estimada. Tal presión es llamada PRESIÓN DE VAPOR⁴.

Si se aplica calor a dicho líquido de modo que su temperatura aumente, el número de moléculas evaporadas aumentará, del mismo modo que aumentará la presión sobre las paredes del recipiente.

Si el sistema confinado, formado por vapor y por líquido tiene tal cantidad de moléculas evaporadas que la cantidad de moléculas iguala a la cantidad de moléculas que se condensan, y tenemos temperatura constante, tenemos un sistema en equilibrio. Este estado es conocido como el estado de SATURACIÓN del vapor⁴.

Si a este sistema le reducimos su volumen, tendremos que las partículas del vapor estarán más cercanas y algunas de ellas se verán obligadas a condensarse nuevamente, esto tiene dos efectos sensibles inmediatos: la presión y la

temperatura aumentan. Si el calor es capaz de escapar, la presión llegará a un valor determinado, consiguiéndose entonces un nuevo estado de equilibrio. Parte de dicho calor es el calor latente de las partículas condensadas.

Si se sigue adicionando calor al sistema, se tendrá que el vapor seguirá ganando partículas hasta que llegará el momento en que no haya ninguna en estado líquido. En este momento, el sistema ha ganado todo el calor requerido para su total evaporación, punto representativo, pues cualquier ganancia en calor no será usado para cambio de estado, es decir, no será calor latente, sino calor sensible, aumentando la temperatura del cuerpo de gas. El estado del vapor por encima de tal punto se llama VAPOR SOBRECALENTADO.

1.3.1.3 Vapor de agua. El vapor de agua presenta el mismo comportamiento descrito anteriormente.

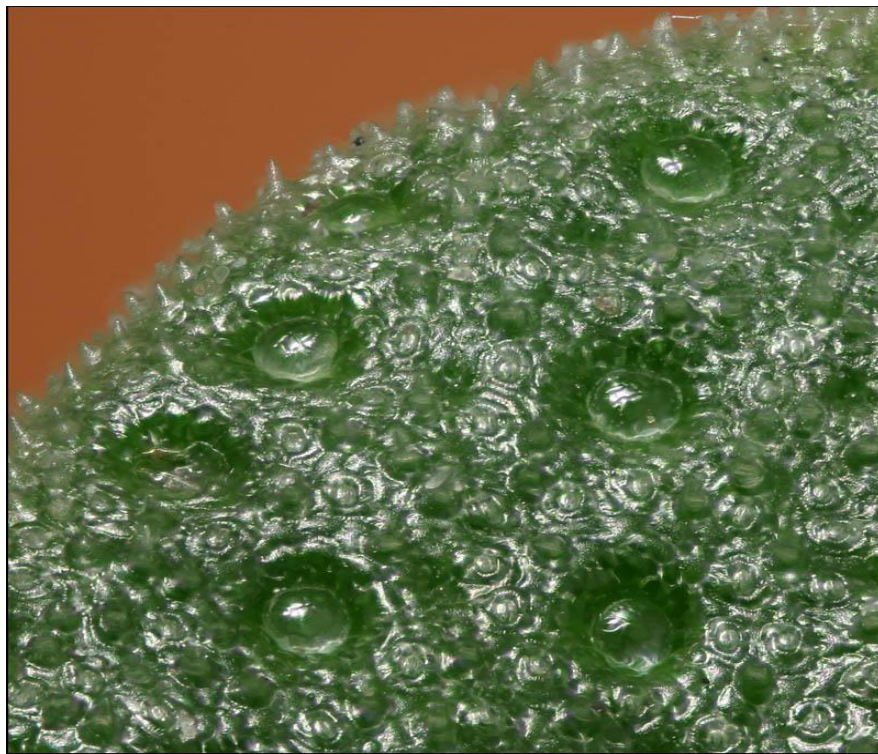
En la práctica, el vapor de agua saturado –en adelante, vapor saturado, simplemente-, lleva partículas de agua líquida en forma de nube. Sólo el vapor sobrecalentado no transporta ninguna en estado líquido. Por esto es que a estos dos estados se les llama comúnmente vapor húmedo y vapor seco.

Como dato importante, la proporción de agua líquida en un vapor saturado es una de las propiedades importantes a la hora de diseñar o seleccionar una caldera. Esta propiedad es llamada CALIDAD DEL VAPOR, y es importante a la hora de realizar los cálculos relacionados con la interacción de los aceites y el sistema de destilación con el vapor para el arrastre.

1.3.1.4 Transferencia de masa. La transferencia de masa es la transferencia de vapor de aceite desde su lugar de depósito en los tejidos vegetales, hacia el vapor de agua en movimiento. Es el efecto base de la destilación, sobre la cual confluyen varios de los efectos.

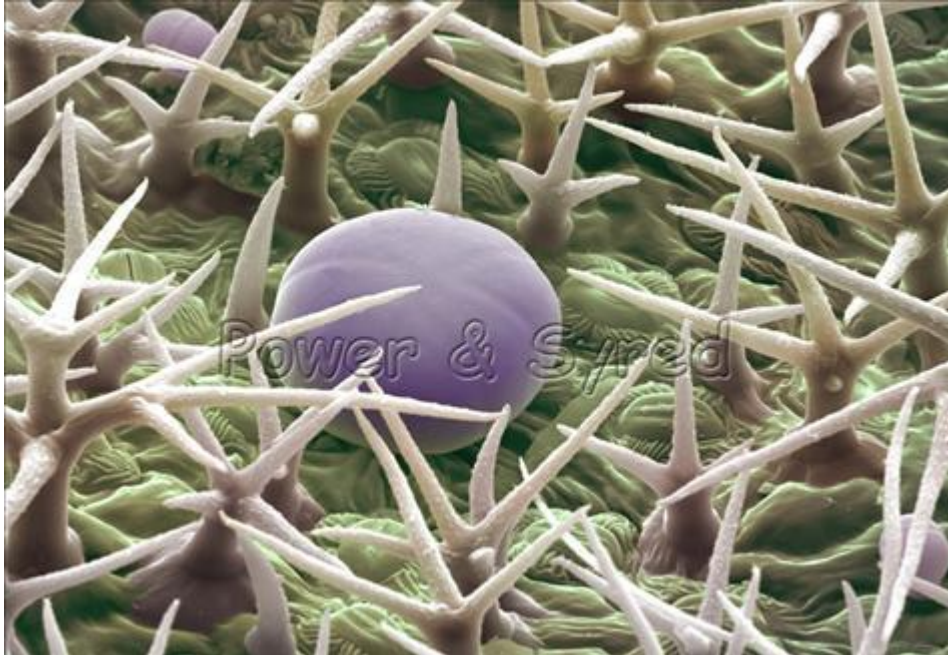
En los momentos previos al contacto del vapor de agua con la superficie de la hierba, las glándulas de aceite están completamente llenas con su aceite esencial. Las figuras 5 y 6, son fotos en las cuales se pueden apreciar dichas glándulas sobre la superficie de una hoja de menta y de lavanda. Es de resaltar el hecho de que la lavanda es una planta *muy absorbente*, y su superficie es lanuda y rugosa, mientras que la menta es una planta *ligeramente absorbente*, y su superficie es lisa y brillante, descripciones dadas anteriormente en la explicación de estas dos categorías.

Figura 5. Imagen de la superficie de una hoja de menta en su estado natural, momentos previos al contacto con el vapor de agua



Fuente: <http://www.photomacrography.net>

Figura 6. Foto de la superficie de una hoja de lavanda, con sus glándulas aceitosas en color púrpura en su estado natural, momentos previos al contacto con el vapor de agua



Fuente: <http://www.psmicrographs.co>

Lo que ocurre entonces durante la destilación, es un proceso durante el cual, el vapor de agua tiene contacto con la superficie externa de la glándula de aceite. En este momento se presentan varios sucesos:

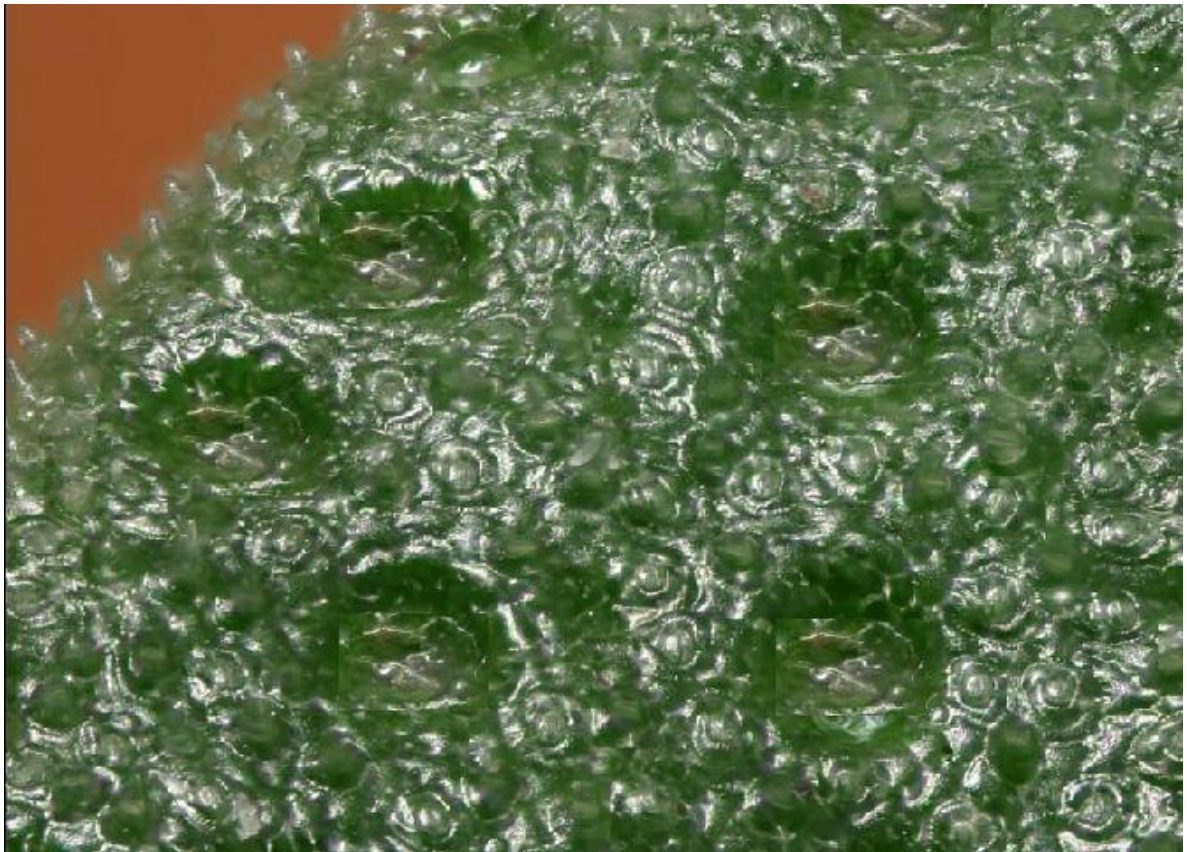
- El vapor toca las paredes de la glándula de aceite, intentando atravesarlas y condensándose un poco sobre ellas debido a transferencia de calor latente desde el vapor hacia la masa vegetal.
- El aceite esencial se calienta, con un aumento progresivo de la presión de vapor sobre las paredes glándula de aceite, hasta un punto tal que las paredes se rompen.
- La mezcla de agua y aceite esencial, en fase líquida y en fase vapor, termina de evaporarse de acuerdo a las descripciones de la mezcla de

vapores de líquidos inmiscibles y de la ley de Dalton (ver parte final del numeral 1.3.1.5).

- En este momento, la mezcla gana energía cinética desde el flujo de vapor y sigue el comportamiento de extracción característico del tipo de superficie de la especie vegetal.

La Figura 7, muestra las glándulas de aceite de la misma superficie de hoja de menta de la Figura 6, momentos después del contacto con el vapor.

Figura 7. Aspecto de las glándulas de aceite luego del contacto con el vapor de agua



Fuente: <http://www.photomacrography.net>

Como puede observarse, luego del contacto con el vapor, las glándulas quedaron exhaustas con algunas excepciones que resisten la fuerza del proceso.

1.3.1.5 Mezcla de vapores de líquidos inmiscibles. Si dos líquidos están en equilibrio en un espacio común, cada uno aportará la cantidad de moléculas evaporadas que pondría en caso de no estar el otro líquido. Sin embargo, la presión total del espacio del vapor será la suma de las presiones de vapor parciales de cada uno de los líquidos. Para el caso de líquidos inmiscibles, la contribución en cantidad de moléculas de cada componente es independiente de la cantidad en fase líquida.

De este modo, cuando se tienen dos líquidos inmiscibles a cualquier grado, la mezcla hervirá cuando la presión de vapor conjunta iguale la presión del ambiente en que se encuentren.

Tal característica permite al destilador la evaporación de compuestos con puntos de ebullición altos a presiones casi cercanas a la atmosférica. Un ejemplo permite visualizar bien esta muy importante ventaja propia de la técnica de arrastre por vapor:

- El acetato de linalilo, un componente importante de muchos de los aceites esenciales tiene una presión de vapor de 12 mm Hg. A la misma temperatura, el agua ejerce 748 mm Hg. La presión de vapor de la mezcla será de $748+12= 760$ mm Hg a $99,6^{\circ}\text{C}$, el cual es, por lo tanto, el punto de ebullición de la mezcla a presión atmosférica. Entonces, a presión atmosférica, el acetato de linalilo puede ser evaporado a los $99,6^{\circ}\text{C}$ en presencia de agua. En cambio, en estado puro, sin presencia de agua, el punto de ebullición del acetato de linalilo a presión atmosférica es cercano a los 220°C , temperatura a la cual el aceite se degradaría totalmente⁴.

LEY DE DALTON: este es el principio gobernante para este sistema, la cual indica que: la presión de la mezcla de los vapores será igual a la suma de las presiones parciales.

1.3.2 Arrastre por vapor: factores que inciden en la destilación. El arrastre por vapor, se da entonces como la interacción entre el aceite y el vapor de agua, que generan a través de procesos de transferencia de calor y de masa un arrastre del aceite que se disuelve en el vapor. Si bien, el agua y el aceite son inmiscibles en estado líquido, en forma de vapor cumplen con la LEY DE DALTON de las presiones parciales.

La eficiencia de la extracción de aceite mediante el arrastre con vapor depende de varios factores que corresponden a cada una de las etapas del proceso de extracción:

- **Etapas Post cosecha**
 - Tiempo de almacenamiento
 - Secado
- **Etapas de empacado**
 - Densidad de empacado
- **Etapas de Calentamiento.**
 - Capacidad calorífica del material vegetal.
- **Etapas de Destilación**
 - Capacidad superficial de absorción de agua.
 - Presión y temperatura del vapor.
 - Flujo de vapor.
 - Humedad del vapor.
 - Altura de la carga.
 - Área transversal de la carga.

- Impurezas.

1.3.2.1 Etapa post cosecha. El material vegetal, en la práctica, está expuesto a condiciones que alteran sus condiciones de corte o cosecha, llamadas post-cosecha; condiciones como el tiempo, el sol, el agua y el viento, que degradan los aceites esenciales a su vez que los evaporan (secado) junto al agua contenida en los tejidos vegetales.

1er Factor: tiempo de almacenamiento.

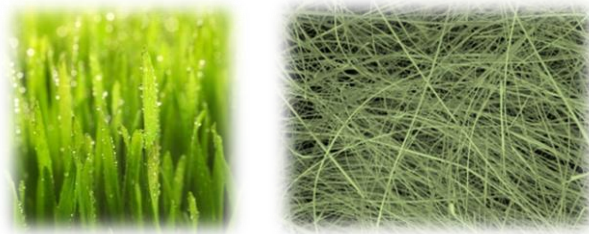
En general el almacenamiento antes del proceso de destilación, no es muy recomendable, ya que está asociado con la pérdida y deterioro de la calidad y el rendimiento del aceite por evaporación, oxidación enzimática u otros procesos de degradación. Sin embargo, hay excepciones y en algunos casos durante el proceso de almacenamiento y **secado**, tiene lugar una serie de reacciones bioquímicas acompañadas de la generación de compuestos aromáticos de interés, como ocurre por ejemplo, con las flores de vainilla y rosa, o las hojas de pachulí.

2do Factor: secado.

La disminución del contenido de humedad del material vegetal puede producirse naturalmente es decir solo por las condiciones y tiempo de almacenamiento o artificialmente utilizando corrientes de aire calientes de bajo contenido de humedad. Dependiendo de la característica superficial del material, de la cual se habla en el desarrollo de este capítulo, el secado puede ser o no conveniente en ciertas

circunstancias. Entre más *absorbente* la superficie, más conveniente conservar la humedad natural del material. Es tan conveniente que en algunas partes existe incluso la práctica de pre-humedecer el material mojándolo con vapor húmedo o con agua fría para el empacado. En cambio, para superficies *ligeramente absorbentes*, lo recomendado es dejar secar el material antes del empacado, para evitar condensación excesiva y reflujos durante el proceso de destilación

Figura 8. Secado del material



Fuente: autores del proyecto

Sus efectos, sobre las especies de interés para este proyecto son:

- Deterioro de la calidad del aceite esencial.
- Disminución del EVE -Estimated Virtual Exhaustion of oil-original.
- Aumento de cantidad de vapor condensado al comienzo de la etapa de destilación.

1.3.2.2 Etapa de empacado

- 3er factor: DENSIDAD DE EMPACADO

La densidad de empacado es la cantidad de masa vegetal a destilar en un volumen definido, expresado en *Kg de material vegetal/m³*. La densidad de empacado es independiente de la altura del empacado.

Un factor ligado a la densidad de empacado, es la *densidad de picado* del material vegetal; el tamaño de los trozos del material vegetal influye positivamente en la calidad de la destilación, ya que: permite un flujo más homogéneo del vapor, facilita la densidad del empacado, y aumenta el área disponible para la transferencia de masa por unidad de volumen.

Figura 9. Densidad de empacado



Fuente: autores del proyecto.

Incidencia:

- Permite conocer cuánto aceite está contenido y está disponible para ser extraído. Para esto debe conocerse el contenido promedio de aceite por unidad de masa del material. Esta cantidad promedio, de contenido de aceite,

denominada **EVE** --, como se verá en secciones posteriores, depende de factores tales como el cosechado y la especie.

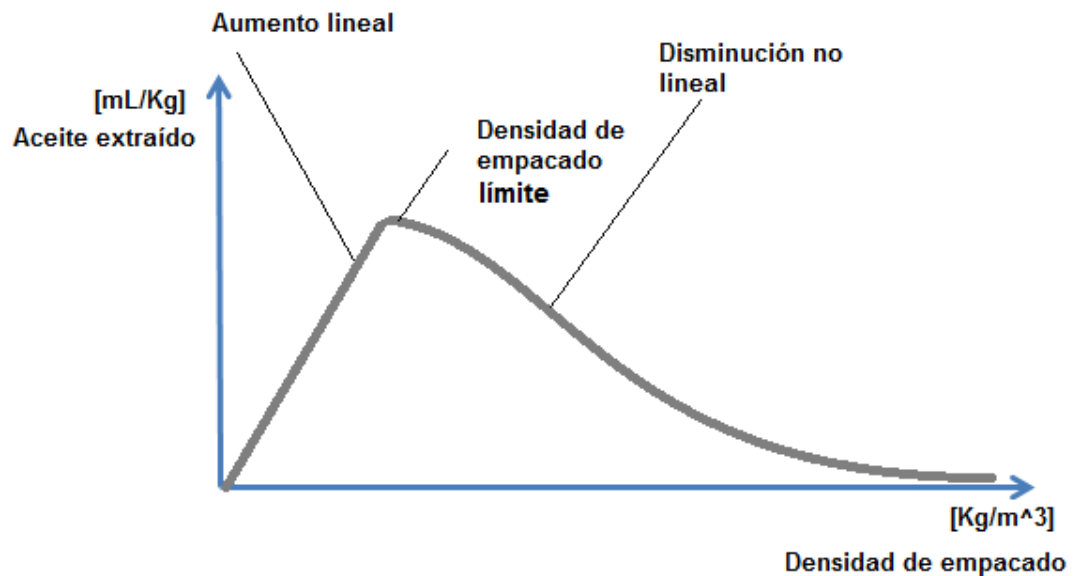
- El vapor tendrá la oportunidad de interactuar en menor o mayor cantidad, de manera directamente proporcional a la densidad de empacado hasta un nivel de empacado límite, ver Figura 10. Esto mejora la velocidad de destilación, pues se logra un mayor arrastre de aceite, o, en otras palabras, a mayor densidad se logra mayor cantidad de aceite destilado en el mismo tiempo, reduciendo en esta proporción el tiempo de destilación requerido.

El aumento en la densidad de empacado implica que hay más fibras de hierba por unidad de volumen y que los intersticios disponibles para el flujo de la mezcla de vapor es menor. Por lo tanto, la resistencia al paso del vapor aumenta, requiriéndose mayor presión de caldera y, por parte del destilador, un sello más exigente. Por último, un aumento en la presión incide directamente en un aumento de la temperatura del proceso, lo cual a su vez acelera el proceso de degradación química de los aceites.

- Una densidad de empacado exagerada opone demasiada resistencia al paso del vapor, de tal modo que el vapor crea caminos o canales de flujo dentro del material, quedando grandes parches o zonas por donde el vapor no fluye. La Figura 10 esquematiza el punto límite o de máxima densidad de empacado, que dependiente totalmente del material vegetal y la forma en que se realiza el empacado, de modo que dicho límite puede ser distinto para cada técnica de empacado, incluso para la práctica de cada operario. Por esto

es realmente importante lograr estandarizar el método de compactación. Una de las innovaciones del presente proyecto es la mejora de dicho método de compactación por medio de La Prensa (ver sección 4.4), mecanismo de fácil manipulación y comprensión por parte de cualquier operario que permite la estandarización y homogenización del proceso que garantiza la repetitividad en la densidad y la homogeneidad de la densidad a través de todo el recipiente. Como se explica en las el Capítulo 6, uno de los ajustes necesarios posteriores a la construcción de este equipo consiste en experimentar los efectos sobre el empaçado

Figura 10. Comportamiento de la extracción de aceite respecto a la densidad de empaçado



Fuente: autores del proyecto.

1.3.2.3 Calentamiento. Esta etapa es crucial para la destilación, y depende de la capacidad calórica de los componentes del sistema: el cuerpo del destilador, sus componentes internos y la masa vegetal a destilar.

4to Factor: Capacidad calórica de los componentes

Determina la cantidad de calor que el sistema completo absorbe antes de comenzar la extracción de aceite, es decir, antes de alcanzar la temperatura régimen de destilación, que oscila entre 100 y 120°C. El sistema a calentar, para este caso, son el cuerpo del destilador junto a todo componente interno como el distribuidor de vapor y placas de compactación, más la masa de hierba empacada.

Incidencia:

- Variación en el consumo de vapor: el calor es suministrado por el vapor, por lo tanto hay una fracción de vapor cuya finalidad es únicamente la del calentamiento. Entonces, plantas con mayor capacidad calórica consumen más vapor, y por ende su destilación es más costosa respecto a otras con menor capacidad calórica.

- Contribuye en el tiempo inicial de la extracción, durante el cual se aplica vapor pero no hay extracción. La otra parte del tiempo de extracción es debido al factor denominado *capacidad superficial de absorción de agua del material vegetal*, como se detalla más adelante.

1.3.2.4 Destilación. Esta etapa comienza justo en el momento que el sistema deja de consumir vapor para calentamiento. Sin embargo se puede observar que en algunos aspectos el límite no está tan claramente definido, pues algunos factores como la *capacidad superficial de absorción de agua del material vegetal* realizan una absorción de vapor que puede confundirse con vapor para calentamiento. Sin embargo, debe aclararse que este proceso de retención es activo para la extracción, pues el aceite está siendo destilado.

5to Factor: Capacidad superficial de absorción de agua del material vegetal.

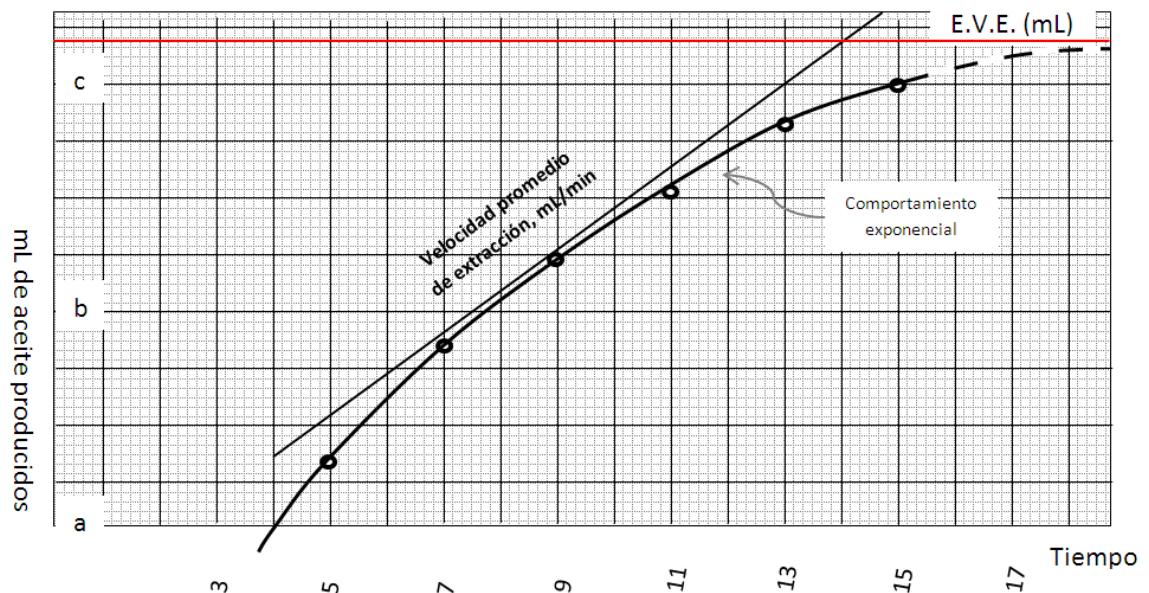
Es la combinación de un par de cualidades superficiales de las plantas; cada planta tiene una superficie característica: lanuda, semi-lanuda, sin lana; pueden tener también su piel: rugosa, lisa, cerosa, áspera, etc. La combinación de estas dos cualidades confluye en una capacidad de absorción de agua que es particular. La importancia de esta cualidad es inmensa, tanto así que la planta es clasificada de acuerdo a ella, ya que define el comportamiento de la destilación en todo momento, siendo así el principal criterio de selección de la matemática apropiada para el diseño de la destilación más eficiente.

Incidencia: existen entonces dos grandes grupos para este factor: 1) superficies vegetales muy absorbentes y 2) superficies vegetales ligeramente absorbentes.

Las figuras y la teoría fueron desarrolladas por el ingeniero Tim Denny. En su libro⁴ puede consultarse esta teoría, la cual además profundiza en otros aspectos y describe al detalle todas las correlaciones para la hidrodestilación y la destilación por arrastre por vapor.

- **SUPERFICIES MUY ABSORBENTES:** suelen ser las superficies lanudas y corrugadas, las cuales tienen la capacidad de capturar una cantidad considerable de vapor antes de comenzar la destilación. Esta capacidad incide profundamente en el comportamiento del proceso de destilación. La Figura 11 muestra la curva característica de destilación de esta categoría.

Figura 11. Curva característica de destilación para plantas categoría “muy absorbentes”



Fuente: autores del proyecto.

Las siguientes características describen la gráfica.

- El proceso comienza con una velocidad de extracción alta y va disminuyendo con el tiempo, hasta un límite práctico para la extracción y está definido por el momento en el que el costo beneficio de la extracción se hace igual a 1, es decir, en

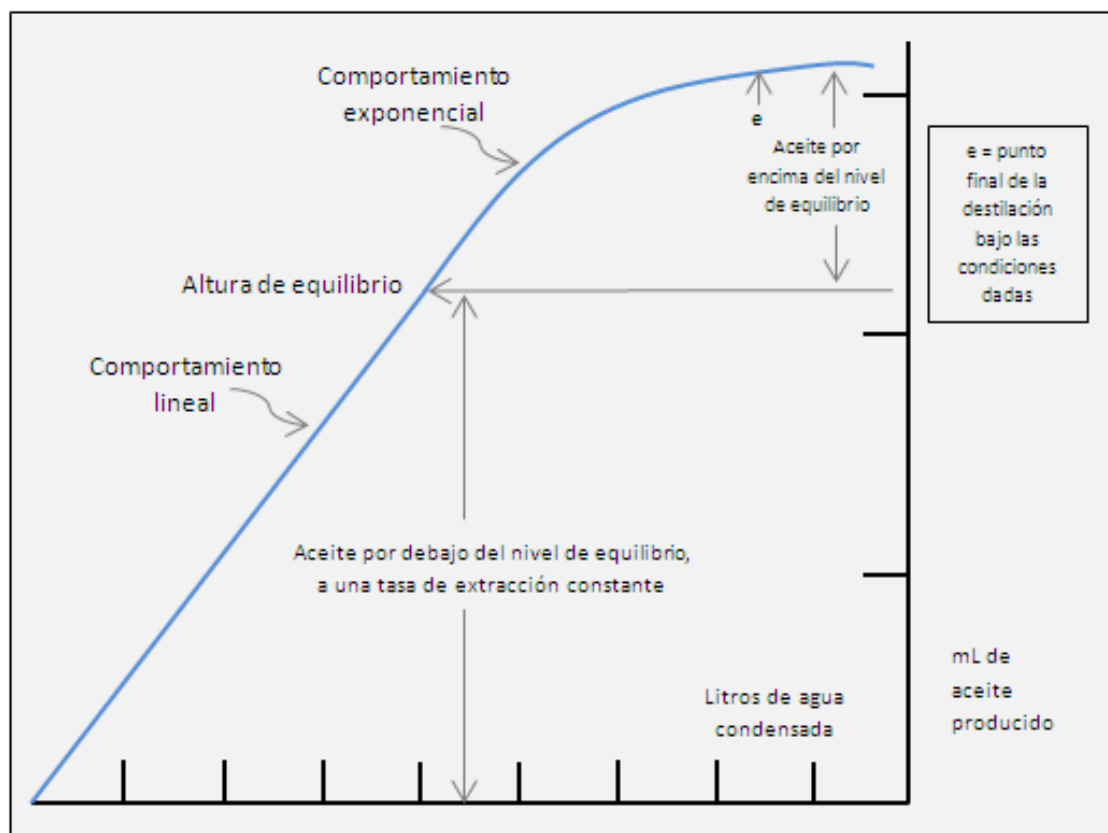
donde el flujo de aceite destilado es insuficiente para cubrir los gastos de su extracción. Este punto está determinado como un porcentaje del EVE. Este valor depende directamente de los costos de la destilación en donde se realice el proceso. Es por esto que se requiere la realización de pruebas posteriores a la construcción del equipo, que permitan estimar el EVE para cada planta de acuerdo a las condiciones reales del lugar de destilación.

- El proceso de extracción, gracias a la capacidad de absorción, consiste en una acumulación progresiva de mezcla de vapores de agua y aceite que va saturando el área transversal del destilador de acuerdo al flujo de vapor, desde abajo hacia arriba. Es por este fenómeno de absorción por capas sucesivas de material vegetal, que la gráfica indica un comportamiento exponencial, para el cual, el aceite comienza a ser extraído del destilador cuando la capa superior de la columna de empacado se ha saturado de mezcla de vapores de aceite y agua, momento en el cual la pendiente, que indica la tasa de extracción, es máxima.

Cabe anotar que, cuando la capa superior de la columna de vegetal comienza a entregar el aceite –momento en el cual ya se ha consumido el vapor de calentamiento-, las capas inferiores están exhaustas. Es por esto que el comportamiento de la curva es exponencial todo el tiempo. La curva se hace intermitente cuando la capa superior de la columna ha quedado exhausta. En adelante, la cantidad de aceite extraída por unidad de tiempo es tan sólo el aceite que por motivos de reflujo, resistencia al flujo y glándulas difíciles de romper, ha quedado acumulado en las capas inferiores.

- **SUPERFICIES LIGERAMENTE ABSORBENTES:** suelen ser las superficies lisas, cerosas y/o brillantes, las cuales son incapaces de retener vapor y aceites que hagan contacto con ellas. Esta característica podría considerarse como completamente contraria a la de las superficies muy absorbentes. Su curva característica de destilación se esquematiza en la Figura 12.

Figura 12. Curva característica de destilación para plantas categoría “ligeramente absorbentes”



Fuente: autores del proyecto.

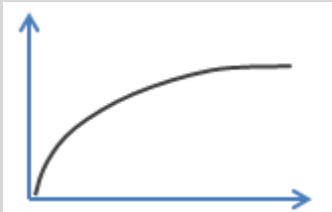
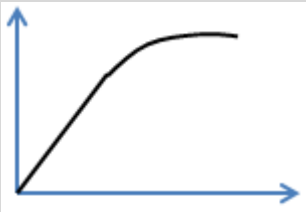
Las siguientes características describen la gráfica.

- El proceso tiene un punto de equilibrio. Este punto, que es el final de la razón constante de extracción por volumen de agua nos indica el punto en donde la gran mayoría de glándulas aceitosas han sido exhaustadas. A partir de este punto debe buscarse el momento en el cual debe detenerse el proceso de destilación.
- Se puede observar el punto “e”. Este punto indica el momento, en volumen de agua condensada, en el cual se ha logrado el equilibrio en la relación costo-beneficio, es decir donde esta relación equivale a 1. Es decir, el punto en donde la destilación debe concluir para evitar las pérdidas económicas. Para efecto de los cálculos y de la facilidad en la práctica, el punto se indica en tiempo, no en volumen, tiempo que depende del flujo de vapor aplicado. Dicho momento, se calcula restando los valores EVE y W, mencionados en la Tabla 14, siendo entonces un límite en unidades de volumen de aceite destilado.
- El proceso de extracción, gracias a la pobre capacidad de absorción, consiste en un paso directo del vapor a través del volumen de cuerpo. Como el material vegetal no es capaz de retener la mezcla húmeda de gases procedentes de las capas inferiores, se da un proceso de extracción homogénea y constante a través de toda la altura. Es por esto, que la curva presenta desde el principio, una línea con pendiente de extracción constante. El proceso, luego del punto de equilibrio, es similar al de las superficies muy absorbentes, a partir del

cual una gran parte de las glándulas de aceite han sido exhaustadas, y el aceite extraído corresponde al acumulado en las glándulas y demás tejidos más resistentes y en los condensados de reflujo.

- El tiempo de extracción depende de dos factores: 1. El desplazamiento de vapor, con el cual son inversamente proporcionales. 2. La distancia que debe recorrer el vapor, para nuestro caso, la altura de la carga⁴.

Tabla 3. Resumen comparativo superficies *Muy* y *ligeramente absorbentes*

	SUPERFICIES MUY ABSORBENTES	SUPERFICIES LIGERAMENTE ABSORBENTES
Comportamiento de la extracción	 <p>Decreciente exponencial</p>	 <p>Constante + exponencial decreciente</p>
Resultado de interés	Flujo de vapor óptimo	Tiempo de extracción óptimo
Límite de extracción	Porcentaje del EVE, punto de equilibrio costo/beneficio	e (porcentaje del EVE), punto de equilibrio costo/beneficio
Punto de equilibrio	No tiene	Punto de transición en el comportamiento
Características físicas	Lanudas, semi-lanudas, rugosas, ásperas, gruesas	Lisas, cerosas, sin lana, delgadas

Fuente: autores del proyecto.

6to Factor: presión y temperatura del vapor.

Debido a que el presente destilador es prácticamente adiabático, la temperatura depende directamente de la presión a la cual se opere el equipo.

Presión:

- Disminuye el $h_{f,g}$ del agua, por lo tanto se requiere menos calor latente para su evaporación, con la consecuente disminución de costos de operación.
- Aumenta la densidad del vapor, aumentando así la eficiencia de la extracción, pues la transferencia de masa depende directamente de la cantidad de vapor que tenga contacto con el aceite. Esto, sin aumentar exageradamente la velocidad del flujo, la cual disminuye dicha eficiencia al no permitir suficiente contacto para favorecer la mezcla de los gases.

Temperatura:

Si bien la temperatura es indispensable para la destilación del aceite, sin la cual no se darían los fenómenos de transferencia de calor ni de masa, se debe tener cuidado con su valor, ya que los aceites esenciales, como se ha mencionado, son susceptibles a degradación por temperatura, siendo contraproducente exponerlo a valores superiores a los 110 [°C].

7mo Factor: Flujo de vapor (velocidad del vapor).

Es la cantidad de vapor, en unidades de volumen, que atraviesa el área perpendicular al flujo del vapor, en una

unidad de tiempo. Debido a que para nuestro caso, el área transversal del destilador es constante, y que las condiciones de presión y temperatura son relativamente estables en el proceso de extracción, el verdadero factor a manipular es la *velocidad del vapor*.

Incidencia:

- El aumento de la velocidad del flujo de vapor puede aumentar la transferencia de calor hacia el aceite, además que puede ejercer la fuerza con la que intenta atravesar los tejidos. Estos dos aspectos, influyen aumentando la velocidad de la extracción.

- El aumento de la velocidad del flujo de vapor, sin embargo, al ser excedida, puede convertirse en un factor contraproducente, ya que aunque aumenta la transferencia de calor, puede no dar tiempo suficiente para que el vapor se sature del vapor de aceite, es decir, puede dificultar la transferencia de masa, la cual es en sí, el arrastre por vapor. Estos dos comportamientos y los siguientes pueden ser similares a los mostrados en la Figura 10, de la destilación respecto a la densidad de empaquetado

- El exceder la velocidad del vapor implica además, un mayor consumo de vapor y por lo tanto de combustible. Por lo tanto, hay un punto de equilibrio para la relación costo-beneficio que indica económicamente, la cual es la velocidad máxima limitante.

8vo Factor: Humedad del vapor.

Es la calidad del vapor, es decir, la fracción de agua líquida suspendida en forma de nube.

Incidencia: tiene el mismo efecto descrito al humedecer el material antes de la destilación. Dependiendo de si la superficie es muy o levemente absorbente, la humedad puede ayudar a mejorar o deteriorar el proceso de destilación. Sin embargo:

- El exceso de humedad aumenta el reflujo.

- El exceso de humedad entorpece el proceso de transferencia de masa hacia el vapor de agua.

9no Factor: Altura de la carga.

Es la distancia que tiene que recorrer el vapor, desde los extremos de la carga a destilar. Para nuestro caso, es la altura de la carga dentro del destilador.

Incidencia:

- La experiencia del ingeniero Tim Denny, demuestra que para empacados con alturas menores a 1[m] de altura, la tendencia a formar condensados y reflujos es la misma que para cualquier otra altura, sin embargo, la capacidad del vapor ascendente para re-evaporar el condensado que cae hacia el fondo es limitada por debajo de dicha altura, pues el tiempo de contacto se ve muy reducido. Lo recomendable, como límite mínimo de altura son 40 [cm],

pero para mayor exactitud en los cálculos se debe estar cerca o por encima de 1 metro.

- Específicamente, para el caso de las plantas muy absorbentes, cuando la carga tiene una altura inferior a 1 metro, la capa superior que se satura con los vapores de las capas inferiores queda tan cerca del fondo que cualquier precipitado por saturación o cualquier condensado cae directamente al fondo del recipiente, perdiéndose definitivamente.
- La altura mínima recomendada es de 40 [cm], debajo de la cual, el gasto de vapor de agua por mililitro de aceite recuperado están por encima de las 32.2 veces, en comparación con cargas por encima de 1 [m], que usan aproximadamente 20 veces el volumen de aceite en vapor⁹.

10mo Factor: Área transversal de la carga.

Es el área transversal del material vegetal perpendicular al flujo de la mezcla de vapores.

Incidencia:

- Si el área transversal es variable a través de la altura del recipiente, se van a presentar diferencias de velocidades del vapor. Su efecto es entonces, los efectos de la variación en la velocidad del vapor, factor ya descrito.

⁹ Página 175 del libro de Tim Denny.

- Un área variable puede dificultar, de acuerdo a su configuración, una compactación y distribución homogénea del material vegetal. Esto provoca los efectos correspondientes a la variación de la densidad de carga, factor ya descrito.
- Para las especies altamente absorbentes, el área transversal superior de la carga es un factor determinante en la velocidad de la destilación, gracias a que es la capa sobre la cual concentran los vapores. La velocidad es proporcional al área transversal disponible. Esta característica, apoyada con las de la altura de la carga, son los factores determinantes de las dimensiones del destilador.

11mo Factor: Impurezas.

Son todas aquellas partes de la planta que son incluidas en la carga vegetal al ser difíciles de separar. Por ejemplo, en las Lippia, es realmente complejo separar completamente las hojas de las ramas medias y parte de los tallos. De igual forma, en la Swinglea es muy complejo separar las hojas de las ramas intermedias y las espinas, aunque algunas veces se realiza con fines académicos, más que prácticos, con los subsecuentes costos en tiempo y dinero.

Incidencia: dichas impurezas inciden en el error de los resultados reales respecto a los teóricos, pues los tallos no poseen las propiedades descritas para ninguno de los tipos de hojas.

- Alargan el tiempo requerido para la destilación.
- Disminuyen el EVE real.
- Aumentan el consumo de vapor y de combustible.
- Pueden alterar, positiva o negativamente, la composición de los aceites, respecto a la esperada de las hojas.

Tabla 4. Correspondencia entre los factores y los distintos efectos

Incidencia Factor	Cantidad de aceite disponible de la carga (EVE)	Razón de destilación total mL/Lagua	Pérdidas de aceite en el proceso	Degradación de la calidad del aceite	Tiempo empleado en la destilación	Comportamiento de la destilación
Densidad de empaçado	d	d	dl	N.A.	N.A.	
Almacenaje (muy absorbentes)	d	N.A.	N.A.	d	d	
Almacenaje (ligeramente absorbentes)	d	N.A.	N.A.	d	d	
Secado	i	i	N.A. (d)	d	d	
Capacidad calorífica	N.A.	i	N.A.	N.A.	d	
Capacidad superficial de absorción (muy absorbentes)						Comportamiento exponencial
Capacidad superficial de absorción (ligeramente absorbentes)						Comportamiento lineal+exponencial
Presión	N.A.	i	N.A.	N.A.	i	
Temperatura	N.A.	N.A.	d	d	i	
Velocidad del vapor	N.A.	iL	i	N.A.	iL	
Humedad del vapor	N.A.	d	iL	N.A.	d	
Altura de la carga	d	N.A.	i	N.A.	d	
Área transversal de la carga	d	i	i	N.A.	i	
impurezas	i	i	d	d	N.A.	

Fuente: autores del proyecto.

i= relación de proporcionalidad inversa.

iL= relación de proporcionalidad inversa, limitada por un valor permisible.

d=relación de proporcionalidad directa.

dl= relación de proporcionalidad directa, pero limitada, hay un valor límite permisible.

N.A.= no afecta.

1.3.3 Clasificación y manipulación de factores para este proyecto. Todos los factores tienen la incidencia descrita sobre la eficiencia en la destilación y todos pueden ser variados, algunos con más complejidad que otros. Es así que se ha decidido escoger aquellos factores que más incidencia tengan sobre la eficiencia y que a su vez sean los más prácticos de manejar en circunstancias reales y no de laboratorio, es decir, los factores prácticos en campo.

Se han categorizado entonces, así:

a. MANEJABLES: son aquellos factores que podrán ser manipulados a gusto del operario del equipo por medio de instrumentos y con seguimiento real y oportuno por medio de equipos de medición. Darle el manejo adecuado y práctico es asunto del “Manual de Funcionamiento”, anexo al presente libro, que enseña en un lenguaje común, cómo deben manejarse estos factores, con qué instrumentación, durante cuánto tiempo y más.

- ✓ Altura de la carga
- ✓ Densidad de empaçado.
- ✓ Capacidad superficial de absorción de agua del material vegetal.
- ✓ Flujo de vapor: velocidad de arrastre del vapor.

b. DISEÑADO INALTERABLE: es un factor cuya variación es altamente compleja, innecesaria o está fuera del alcance del presente desarrollo, pero que establece unos parámetros frontera convenientes, los cuales se usan como criterio de diseño para dimensiones y características fijas. Dicho factor es:

- ✓ Área transversal de la carga.

c. NO TENIDOS EN CUENTA: son aquellos factores cuya manipulación está totalmente por fuera del alcance del presente proyecto, cuya manipulación es extremadamente compleja, que están implícitos en uno o más factores más grandes y manejables, y/o cuyo efecto es realmente inapreciable en los resultados prácticos.

- ✓ Secado del material (Humedad del material): la infraestructura y la logística para la post-cosecha y el transporte al lugar de destilación, tanto para los centros de producción como para la planta piloto en el CENIVAM no brindan un manejo adecuado para el control de la humedad del material vegetal. De igual modo, al material no se le hace ningún pre-tratamiento para el empacado; ni pre-humidificación con vapor húmedo ni con agua. Por esto, para el alcance del presente proyecto, no tiene sentido diseñar cálculos o mecanismos para su manipulación.
- ✓ Humedad del vapor (calidad): la calidad es un factor manipulado desde la fuente de vapor, que para este caso es la caldera de vapor, diseño que está fuera del alcance del presente proyecto.
- ✓ Capacidad calorífica total: está implícita en el tipo de material.

2. PROCESO BÁSICO DE DISEÑO

Considerando la teoría mencionada en el Capítulo 1, a continuación de forma ilustrativa se explicará de qué manera se le dio respuesta a la necesidad que suple el presente proyecto; además, según se fue sumando cada una de las soluciones a las problemáticas particulares, se muestra cuál fue la evolución en el proceso de diseño que concluye con el diseño definitivo.

2.1 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES Y RESTRICCIONES

Las especificaciones preliminares para este proceso de diseño son:

- Volumen útil para extracción: 0.2 [m³]
- Método de extracción: arrastre por vapor. Mejoras:
 - Profundización en el desarrollo de la teoría del método con base en la bibliografía existente.
 - Establecimiento de una metodología clara para ajustes posteriores a la construcción, relacionados con el manejo de dicha teoría.
 - Mejorar la eficiencia del proceso.
 - Enfocado en las plantas:
 - *Cymbopogon nardus*
 - *Cymbopogon flexuosus*
 - *Cymbopogon martinii*
 - *Cymbopogon citratus*

- *Lippia origanoides*
- *Lippia alba*
- *Swinglea glutinosa*

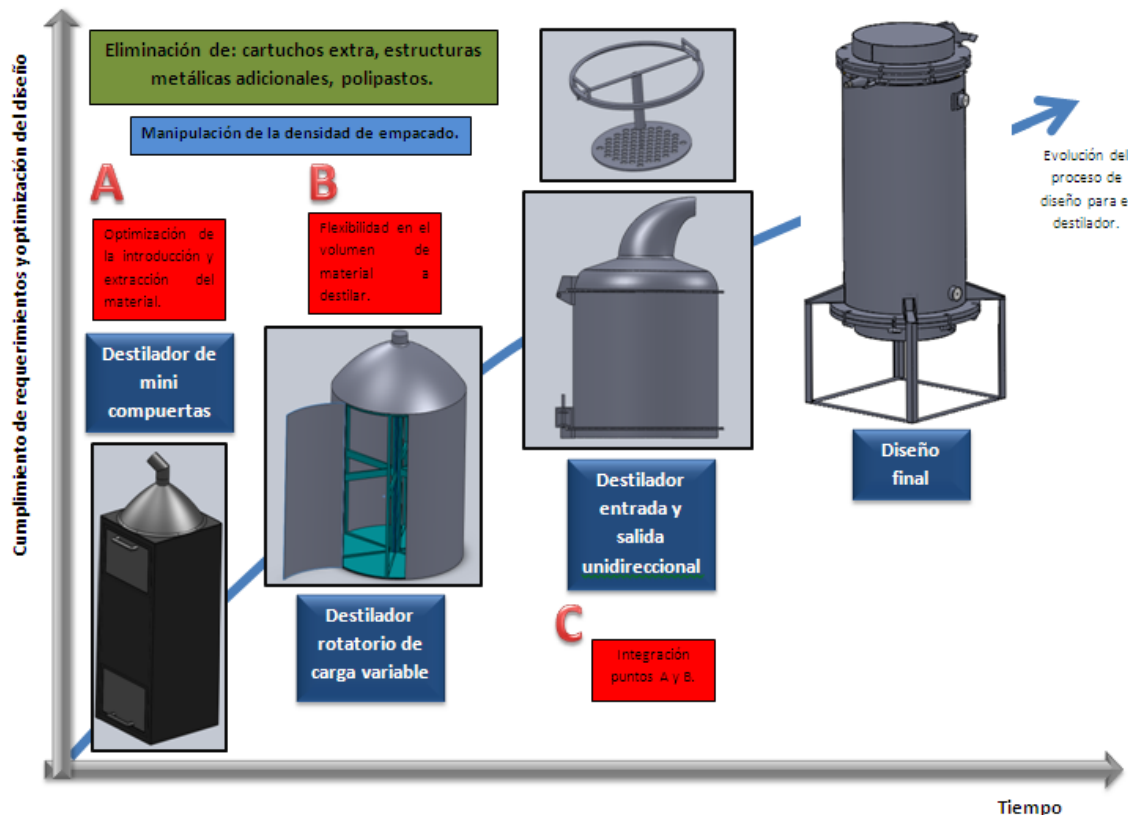
Las restricciones o condiciones que acotan este diseño son:

- Maniobrabilidad:
 - Facilitar los procesos de carga y descarga, en comparación a los destiladores existentes:
 - Carga: eliminar piezas desmontables y diseñar método para compactación rápida y ajustable. Carga: eliminar piezas desmontables y diseñar método para compactación rápida y ajustable.
 - Descarga: permitir la descarga del material vegetal exhausto sin el uso de grandes accesorios de apoyo y, conservando distancias prudentes entre el operario y el material.
 - Eliminar grandes estructuras para manipulación y operación del equipo.
 - Facilitar procesos de ensamble y desensamble del equipo, incluyendo la infraestructura para el equipo.
 - Limpieza: garantizar limpieza rápida y cómoda del destilador.
 - Manejo del caudal de vapor: permitir un ajuste del flujo de vapor rápido y sencillo.

2.2 DISEÑO CONCEPTUAL Y FACTIBILIDAD DE LOS DISEÑOS

En la Figura 13, se muestran las etapas más representativas del proceso de diseño, en la búsqueda de soluciones viables a los requisitos planteados; aunque la cantidad mostrada de prototipos propuestos a lo largo del proceso es muy inferior a la que verdaderamente se produjo, sí se ilustran las opciones más sobresalientes, las cuales significaron gran discusión y análisis por parte del equipo de trabajo y el equipo evaluador (representantes del Centro, el señor director del proyecto, y algunos representantes del sector productivo metalmeccánico de la región).

Figura 13. Evolución del diseño



Fuente: autores del proyecto.

La siguiente tabla, Tabla 5, describe uno a uno los requerimientos específicos de la necesidad total del Centro, junto con: la idea de diseño con la cual se suplió tal particularidad, las justificaciones conceptuales con las cuales se validó en su momento cada opción y las razones por las cuales de la misma manera se descartaron o mejoraron.

Tabla 5. Descripción del diseño conceptual y factibilidad de los diseños (evolución del diseño)

Nombre del diseño propuesto	Características especiales	Requerimientos más relevantes que cumple	Manera de cumplirlo	¿Por qué se descartó?
A. Destilador de mini compuertas	Uso de una prensa para: conformar los paquetes de material a destilar. No requiere grúas o polipastos para cargar o descargar el material.	1. Eliminación de cartuchos o recipientes interiores adicionales, que contengan el material.	1. Se conforman los paquetes, los cuales no exceden la carga máxima permitida para ser manipulada por el operador del equipo.	<ul style="list-style-type: none"> - Las paredes planas del recipiente, y la presión que estas deben soportar, requieren un espesor de pared elevado, que incrementan los costos de fabricación. - La complejidad de garantizar un sello eficiente en las compuertas. - No se garantiza la penetración homogénea del vapor al material.
		2. Optimización en la introducción y extracción de la biomasa.	2. Ingreso práctico del material por la puerta superior, y posterior extracción rápida por la puerta inferior.	
B. Destilador rotatorio de carga variable	Uso de una prensa para: conformar los paquetes de material a destilar. No requiere grúas o polipastos para cargas o descargar el material.	3. Además de suplir los requerimientos 1 y 2 del destilador A (el numeral 2 no se cumpliría a cabalidad debido a la alta temperatura del material convertido en bagazo, y por ende, espera por parte del operador para entrar en contacto con este), permite gran variedad en el tamaño de los paquetes o cantidad de material a destilar.	3. Se conforman paquetes en forma de divisiones angulares de una circunferencia.	<ul style="list-style-type: none"> - Complejidad de la prensa para conformar dichas porciones; esto repercute en costos de fabricación por no utilizar elementos comercialmente adquiribles. - El carrete interno (elemento rotatorio) podrá representar un riesgo de presión accidental para las manos del operario. - Dificultad en la eficiencia de los sellos para la compuerta lateral.
	Uso de una prensa		4. Al contar con	

C. Destilador entrada y salida unidireccional.	para comprimir el material, el cual se introduce inicialmente suelto o libre. También útil para empujar posteriormente el material convertido en bagazo, hacia el exterior.	4. Cumplirá con los numerales de los destiladores A y B, y optimiza cada una de estas características.	apertura superior e inferior, permite que el flujo del material (introducción y extracción) se realice en una sola dirección, reduciendo el tiempo de manipulación.	<ul style="list-style-type: none"> - La tapa inferior gira sobre un pequeño eje, el cual será un punto crítico para el diseño. - El cuello se cisne mostrado eleva en gran medida los costos de fabricación.
	No requiere grúas o polipastos para cargas o descargar el material.	5. Se permite el libre movimiento del material al interior del destilador.	5. Eliminación de cualquier obstáculo interno (carrete, guías, otros).	
		6. No se tendrá que conformar paquetes, reduciendo tiempo del proceso.	6. El material ingresa suelto al equipo, y posteriormente se comprime.	

Fuente: autores del proyecto.

2.3 DISEÑO FACTIBLE

El diseño factible, producto final del anterior diseño conceptual, también mostrado en la Figura 13, cumple con cada una de las características positivas expuestas en la Tabla 5, o en situaciones mejores, las optimiza, y adicionalmente presenta otras ventajas, todas estas características se resumen en la Figura 14.

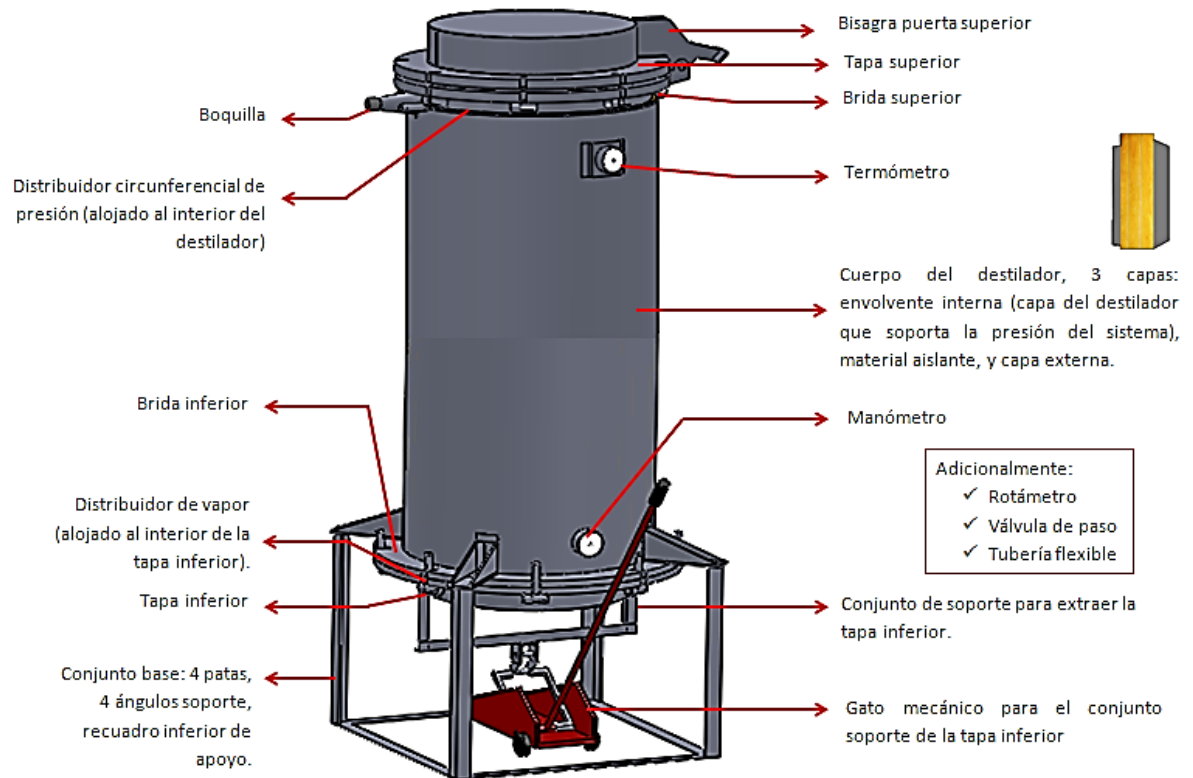
Figura 14. Esquema diseño final



Fuente: autores del proyecto.

Las partes que componen el destilador propuesto son expuestas en la Figura 15, y en secciones y capítulos posteriores se detalla una a una su razón de ser y las funciones que cumplen.

Figura 15. Partes del destilador



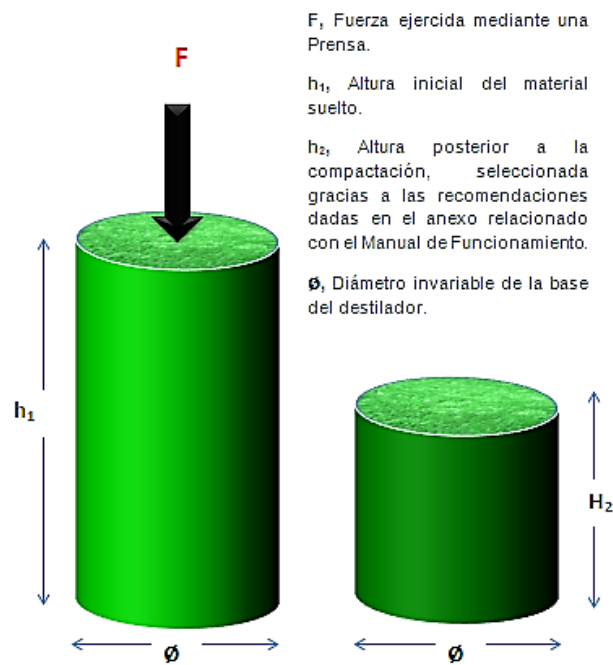
Fuente: autores del proyecto.

2.3.1 Manejo de los factores. Desde la teoría elemental, hasta la de mayor profundidad expuesta en el presente trabajo, resalta la importancia y la utilidad que le representa al Centro contar con el diseño propuesto en el presente trabajo, el cual le permite variar condiciones significativas de su proceso para controlar a favor los resultados que se obtengan.

Como se menciona en el Capítulo 1, son varios los factores que inciden en la eficiencia de la destilación, y en la Figura 14 se especifica cuáles de estos factores se le entrega al Centro para autocontrolar su proceso en pro de incrementar dicha eficiencia. En los siguientes numerales se detalla la manera del cómo el diseño propuesto permite variar uno a uno los factores relacionados.

2.3.1.1 Solución para densidad de empaqueo y altura de la carga. El material ingresa suelto y libre al interior del destilador; dentro de este, al introducir la cantidad que se desea destilar, la cual puede variar desde prácticamente cero hasta 70 [kg], la biomasa puede ser comprimida o no mediante la prensa (ver sección 4.4) que complementa el diseño, todo siguiendo las recomendaciones consignadas en el Capítulo 6 y en el Manual de funcionamiento anexo, para dar un uso adecuado que permita contribuir realmente a la eficiencia del proceso.

Figura 16. Solución para la densidad de empaqueo



Fuente: autores del proyecto.

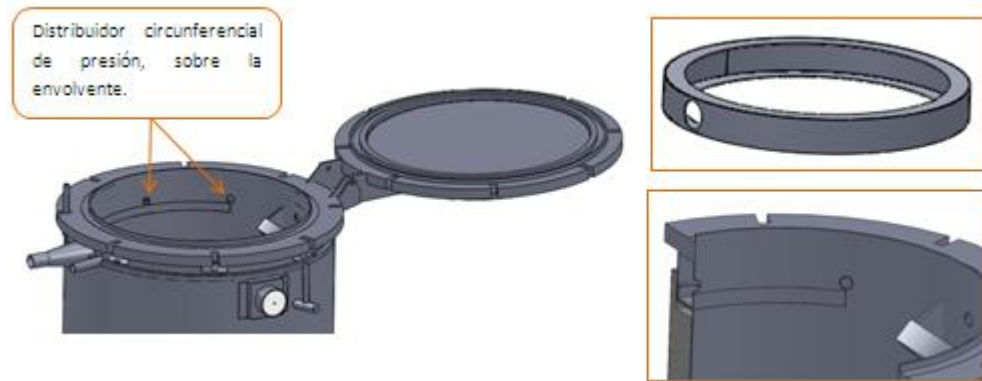
Según varíe la densidad de empaqueo, y dado que el área transversal del equipo es constante, diseñada según las recomendaciones expuestas por el ingeniero Tim Denny, la altura (ver Figura 16) será la que varíe según los requerimientos de cantidad de material y densidad necesaria para garantizar una eficiencia aceptable en el proceso.

2.3.1.2 Solución para el flujo de vapor. Este diseño es la primera solución con la que cuenta el Centro para medir y controlar adecuadamente la cantidad de vapor que se le suministra al sistema durante el proceso de destilación, de esta manera y con base a la teoría expuesta en el Capítulo 1, convertida en práctica en los capítulos relacionados con manuales de operación y de funcionamiento, se podrá dar el uso adecuado a este factor de proceso logrando verdaderos beneficios para la eficiencia relacionada.

Particularmente para medir el flujo de vapor se tiene un rotámetro debidamente seleccionado (ver Anexo A) que mide específicamente flujo de vapor dando la precisión necesaria mediante el equilibrio de las fuerzas que actúan sobre el flotador; este dispositivo está ubicado en serie entre la caldera y la válvula de paso (ver Anexo A) donde el salto de presión se garantiza constante, permitiendo su correcto funcionamiento. Desde el punto de vista de la maniobrabilidad, en el numeral 2.3.1.7 se complementa esta medición y regulación mediante una válvula allí descrita.

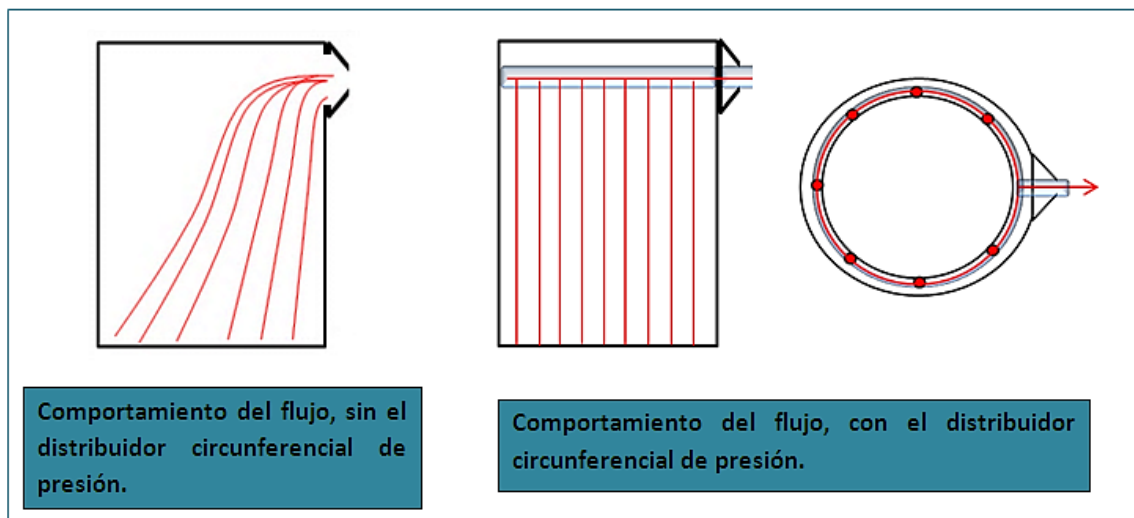
Otra pieza fundamental del diseño, que lo diferencia en gran medida de los diseños presentes en el Centro, es la que reemplaza al cuello de cisne convencional, esto mediante una boquilla lateral para la salida de la mezcla gaseosa de vapor y aceite. Si bien este elemento reduce en gran medida los costos de construcción, y simplifica la misma, igualmente genera que el paso del flujo de vapor al interior del destilador no sea homogéneo o no penetre cada parte de la biomasa; para dar solución a este inconveniente, se incluyó dentro del diseño un dispositivo interno, adherido a la capa envolvente, que garantiza la correcta circulación del flujo; tal dispositivo es llamado “Distribuidor circunferencial de presión” (ver Figura 17 y Figura 18), que genera un juego de presiones que permite al vapor atravesar la sección transversal de la carga de forma homogénea por toda su altura (ver Figura 18). El número de huecos, su tamaño y su disposición, son determinados en el Anexo B.

Figura 17. Distribuidor circunferencial de presión



Fuente: autores del proyecto.

Figura 18. Flujo de vapor antes y después de usar el distribuidor circunferencial de presión



Fuente: autores del proyecto.

2.3.1.3 Solución para el manejo del tipo de material: capacidad superficial de absorción de vapor. En la práctica no existe un manejo real de este factor dentro del diseño definitivo, pero se toma como factor manipulado de manera indirecta, dado que la construcción de las tablas del Manual de funcionamiento se realizaron considerando las características particulares de los dos grandes grupos de materiales utilizados: los absorbentes y los ligeramente absorbentes.

Mejoras en la maniobrabilidad. Luego de observar el tedioso proceso necesario actualmente en los equipos presentes en el Centro, y con base en la evolución del diseño expuesta en la Figura 13, los siguientes numerales describen de qué manera fueron abordadas y solucionadas cada una de las problemáticas existentes, mediante la descripción del proceso que se debe llevar a cabo para realizar la destilación, describiéndolas como un “antes de” y un “ahora”.

2.3.1.4 Carga y descarga.

Antes de: el operario debe sacar el cartucho interno del destilador existente en el Centro, apoyándose de una grúa. Posteriormente debe ubicarlo en un lugar adecuado para iniciar a cargarlo de material, a su vez debe ir comprimiendo manualmente, o con el apoyo de herramientas de lenta manipulación sin estricto control; al tener la cantidad que considera adecuada, nuevamente se apoya en la grúa para levantar el gran cartucho que ha incrementado altamente su peso al contener el material, y lograr que este se deslice e ingrese al interior del destilador, corrigiendo continuamente y con mucha precaución el movimiento, hasta que los cilindros coincidan; finalmente al lograr introducir el cartucho correctamente dentro del equipo, se espera el tiempo de destilación. Al terminar dicho ciclo, se apoyará nuevamente en la grúa para extraer el cartucho, el cual se encuentra a alta temperatura, y se aleja con mucho cuidado hasta un lugar en el cual se pueda volcar; mediante una pala se saca el material que deberá ser recogido

posteriormente; nuevamente se utiliza la grúa para ubicar el cartucho hasta el lugar que se requiera, ya sea dentro del equipo o hacia el lugar donde nuevamente sería cargado de biomasa. Todo esto sin mencionar que cada vez que se deba sacar o introducir el cartucho, debe realizarse el proceso de enganche, desenganche y desplazamiento de la grúa para la tapa superior, ya que su peso es considerable y su temperatura es cercana a la del vapor.

Ahora: el operario introducirá la cantidad de material a destilar, directamente dentro del equipo, luego en base a las tablas del Manual de Funcionamiento, usará la prensa manual para darle una densidad de empaçado ideal según el tipo de material; esperará el tiempo necesario para la destilación, el cual será justo el necesario gracias a que el diseño considera los factores incidentes en la eficiencia, y abrirá la tapa inferior permitiendo la caída libre del material. En el Manual de Operación anexo, se da de manera explícita y práctica este paso del proceso.

2.3.1.5 Limpieza.

Antes de: al poseer un único acceso al interior del destilador, y dado el cartucho existente, la limpieza se debe realizar con atención para evitar que queden residuos de material en alguna rendija.

Ahora: se tiene acceso total al equipo, libre de extremo a extremo, facilitando totalmente su limpieza.

2.3.1.6 Instalación.

Antes de: considerando que en diseños antecesores se cuenta con una grúa (cadenas, polipastos, armazón metálico de tamaño considerable, entre otros elementos), el espacio dispuesto para la operación del equipo deberá ser lo

suficientemente amplio y adecuado, con partes resistentes, incrementando la complejidad de la distribución y el costo de su instalación.

Ahora: no se requiere instalación especial al tener únicamente las acometidas convencionales para las tuberías.

2.3.1.7 Caudal de vapor. Dando continuidad al numeral 2.3.1.2 para hablar de verdadera medición y regulación del flujo de vapor, en el diseño propuesto en el presente trabajo, se cuenta con una válvula de paso especial para regular caudal de vapor de manera precisa, pues en los diseños actuales igualmente se cuenta con válvulas que no son especiales para el manejo del vapor, siendo esta última la necesidad principal.

En el Anexo A se especifica cuál es el modelo de válvula seleccionada.

2.3.1.8 Medición real y precisa de condiciones de operación. Para medir de manera precisa las condiciones reales de operación en cada instante del proceso de la destilación, se han incluido los siguientes elementos dentro del diseño:

- Un manómetro ubicado en la base de la carga, lugar donde se presenta la mayor presión del proceso; en el Anexo D se detalla las características del manómetro seleccionado.
- Un termómetro ubicado en la boquilla de salida del vapor.

Gracias a incluir todo el conjunto de elementos mencionados desde el numeral 2.3.1 hasta el numeral 2.3.1.8, el diseño que se está describiendo cumple con cada una de las consideraciones mencionadas en la Figura 14.

3. DISEÑO DE DETALLE: DISEÑO TÉRMICO DEL DESTILADOR

En el diseño térmico del destilador se tienen en cuenta aquellos factores que tienen incidencia en aspectos de flujo y/o temperatura, tales como: caudal de vapor, área transversal para flujo del vapor, temperatura, manipulación del comportamiento apropiado para la extracción de acuerdo al material vegetal, otros.

3.1 PROPORCIONES: ALTURA-ÁREA TRANSVERSAL

Si bien el diseño mecánico, de acuerdo a la norma ASME, Sección VIII, se encarga de dar los espesores de envolventes para el manejo de los requerimientos de presión y temperatura del recipiente a presión, es el diseño térmico el que nos indica cuales son las dimensiones y las proporciones adecuadas.

El factor “Área transversal de la carga” ha sido ya clasificado como “Diseñado Inalterable”, en el numeral 1.3.3.b. La “Altura de la carga” es uno de los factores clasificados como “Manejables”, en el numeral 1.3.3.a.

Abordando el efecto de estos factores y cruzándolos con los requerimientos de diseño, tenemos que:

- Volumen útil del recipiente: 0.2 [m³]. Requerimiento del CENIVAM.
- Altura de la carga: debe estar, idealmente, por encima de 1 metro. La altura mínima no debe estar por debajo de 40 centímetros. Su efecto es igualmente importante para todas las especies vegetales de interés.

- Área transversal: es constante por toda la altura útil de la carga. Debe ser lo más grande posible. Su efecto es más importante en las plantas tipo “ligeramente absorbentes”.
- Los dos factores mencionados son contrarios al tener un volumen de valor fijo. Debe buscarse entonces el mejor balance.

De este modo, se permitirá que, para destilación en serie, como factor dominante, la carga sobrepase ligeramente el metro de altura sin importar la densidad de empacado, para lo cual el área que queda disponible, como el segundo factor, es el más grande posible. Debe resaltarse nuevamente que, para fines experimentales, en los cuales suelen no destilarse grandes cantidades de material vegetal, se debe procurar no estar por debajo de los 40 centímetros.

Los cálculos son entonces:

- Volumen (V)= $A \cdot H = 0.2 \text{ [m}^3\text{]}$
- $H = 1.05 \text{ [m]}$
 - o $A = 0.2/1.05 = 0.1905 \text{ [m}^2\text{]}$
 - o $R = \text{radio interno del recipiente} = (A/\pi)^{1/2} = 246 \text{ [mm]}$

La altura de la carga podrá ser variada, desde los **15 centímetros** a partir del fondo del recipiente, cada **5 centímetros**, hasta la altura total disponible, igual a **1.05 metros**.

3.2 RANGOS DE VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DE EMPACADO

El delta de variación de la densidad de empacado puede ser infinitamente pequeño en teoría. Sin embargo, los rangos de variación de la densidad deben ser prácticos, pues la precisión en la medición para dichos rangos no es alta, y la

influencia de su efecto se nota sólo para grandes variaciones. Es así que los resultados de este proyecto, que se pueden observar en el anexo “Manual de funcionamiento”, se basan nuevamente en los registros experimentales del Ingeniero Tim Denny, quien realizó sus pruebas sobre todos los materiales vegetales objeto de su investigación, para las siguientes densidades de empacado:

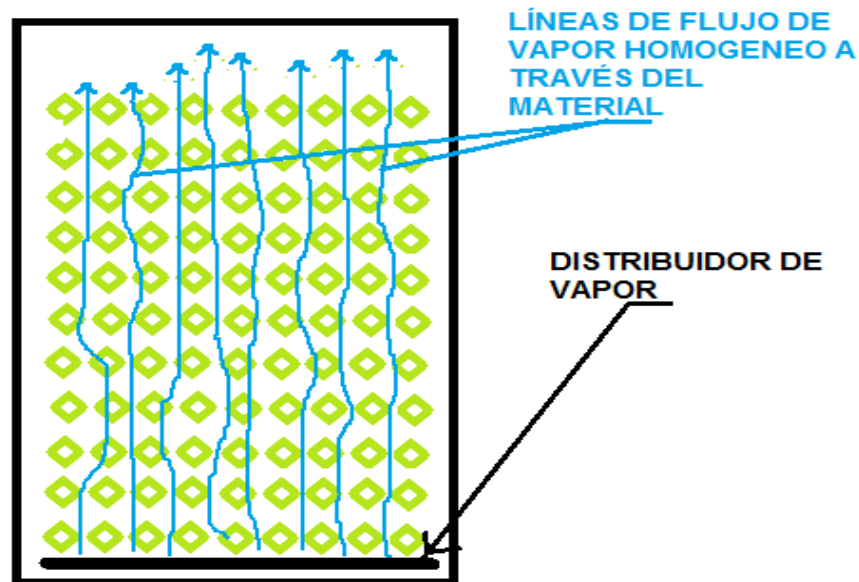
- **270** [Kg/m³]
- **290** [Kg/ m³]
- **300** [Kg/ m³]
- **320** [Kg/ m³]
- **350** [Kg/ m³]

- El límite inferior, equivalente a **270** [Kg/m³], es la densidad del material vegetal que no tiene pre-tratamientos como picado o raspado.
- El límite superior, equivalente a **350** [Kg/m³], es la aplicación práctica del factor “*densidad de empacado*”, el cual nos indica que hay un valor máximo de compactación después del cual la eficiencia comienza a decaer, ya que el vapor no es capaz de atravesar el material de forma homogénea, esto porque se opone mucha resistencia al paso y se forman canales de flujo.
- Cualquier otro valor de densidad de empacado que se desee, fuera de tales valores, puede ser obtenido por medio de la variación de la masa que se introduzca al recipiente, combinado con la variación de la altura previstas por el sistema de posicionamiento para la prensa.

3.3 DISEÑO DEL DISTRIBUIDOR DE VAPOR

El distribuidor del vapor es el elemento que se ubica en la parte más baja del recipiente a presión, el cual se usa para distribuir el vapor de la manera más homogéneamente posible sobre la cara inferior de la masa vegetal a destilar. Es por esta razón, que su diseño, aunque sencillo, maneja algunos aspectos que lo estilizan con el fin de garantizar la mayor homogeneidad posible de dicho flujo. La Figura 19, esquematiza dicha ubicación dentro del recipiente.

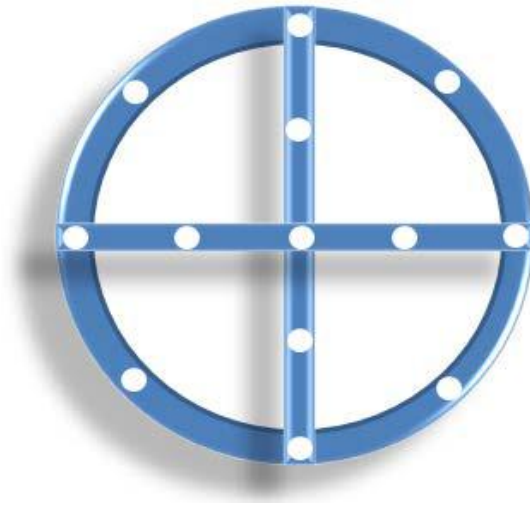
Figura 19. Esquema de la posición del distribuidor de vapor y de su flujo homogéneo



Fuente: autores del proyecto.

3.3.1 Tipo de distribuidor. Existen diversas configuraciones geométricas, pero entre las más apropiadas por su capacidad de distribuir el vapor homogéneamente y su facilidad de construcción, es la tipo círculo-cruz. La Figura 20 esquematiza esta geometría.

Figura 20. Esquema del distribuidor de vapor tipo círculo-cruz



Fuente: autores del proyecto.

3.3.2 Dimensionamiento del distribuidor. El dimensionamiento del distribuidor es el resultado de los requerimientos máximos de vapor esperados, conjugados con las normas pertinentes al flujo de vapor por tuberías.

3.3.2.1 Requerimientos de vapor. El destilador debe entregar flujos de vapor de forma variable de acuerdo a los distintos estados de carga de extracción a los cuales está sometido. Sin embargo, el distribuidor de vapor, elemento del destilador encargado de entregar el vapor, no tiene dimensiones variables, pero debe ser capaz con todos los requerimientos. Es por esto que debe ser dimensionado de acuerdo al requerimiento más exigente.

La determinación de tales requerimientos se basa en los factores que influyen en la destilación mencionados anteriormente.

Para los cálculos, el primer paso es definir el factor “calidad superficial de absorción de agua”. Los pasos siguientes se desprenden entonces de los distintos

tipos de hierba, cada uno de los cuales tienen sus cálculos propios y busca un resultado particular, como se explica a continuación.

✓ **Tipo de hierba a destilar (capacidad superficial de absorción).**

De acuerdo a los estudios realizados por el ingeniero Tim Denny, cada tipo de hierba tiene su propio comportamiento en la destilación, y por lo tanto, su propio procedimiento matemático. De este modo, el tipo de hierba “**Muy absorbentes**”, exige encontrar cuál es el **flujo de vapor ideal** para que la destilación sea lo más corta y rentable posible. En cambio, con las tipo “**Ligeramente absorbentes**”, se busca es determinar el **tiempo requerido para el proceso**, para cualquier flujo de vapor, pues la termodinámica y la transferencia de calor en este tipo de plantas no es compleja, siendo lo realmente importante, conocer cuánto es el tiempo rentable, para no consumir más vapor del necesario.

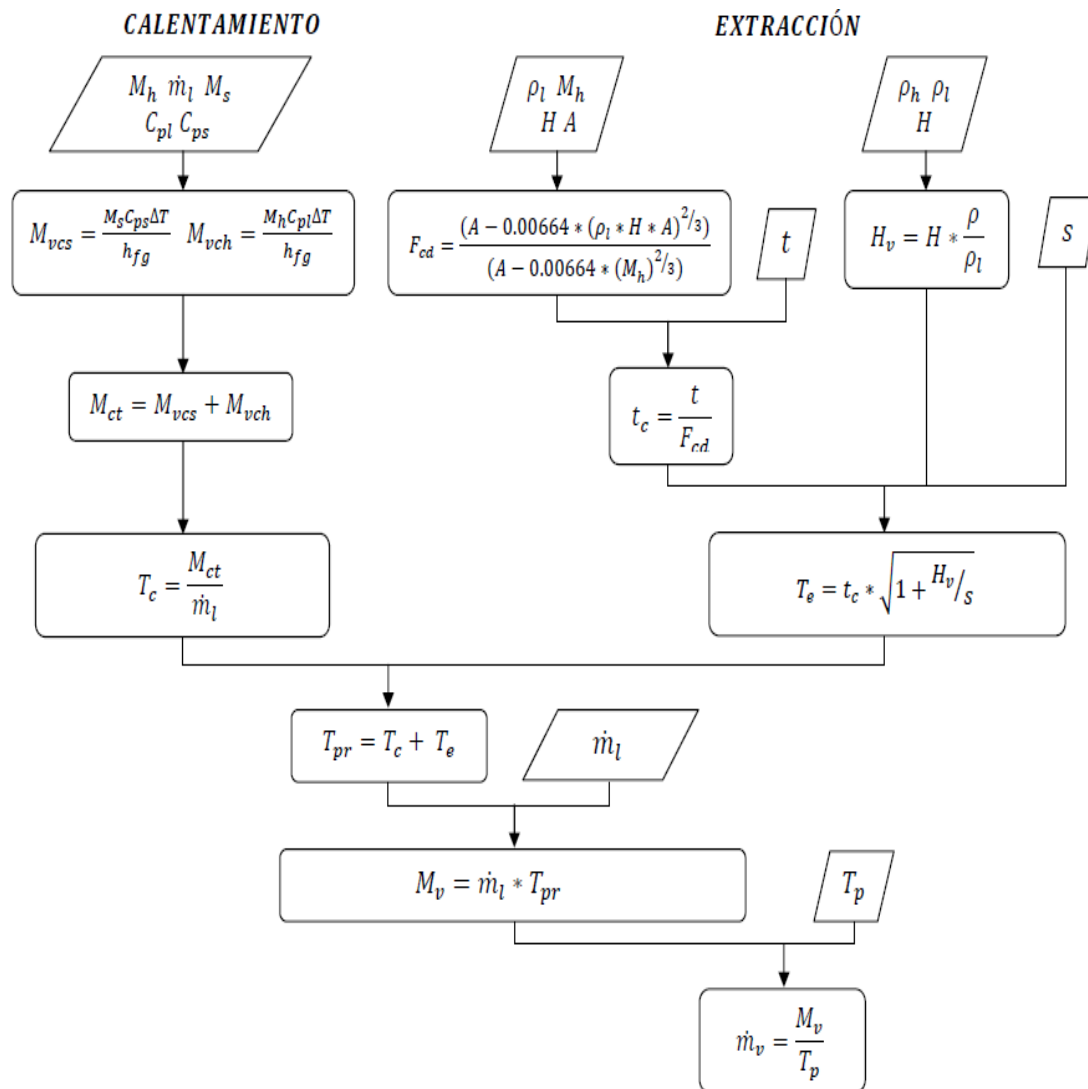
En ambos casos, se desarrolla el procedimiento matemático correspondiente al factor máximo de diseño del destilador, a modo de guía procedimental del manejo matemático; los resultados de los demás cálculos que deben ser realizados, para todas las densidades, materiales, flujos máscicos y demás, están consignados en las tablas y gráficas del “Manual de funcionamiento”, guía para el adecuado funcionamiento del destilador.

a) Procedimiento para “Muy absorbentes”

Los parámetros más exigentes son aquellos manipulables en su máxima condición:

- Altura de carga máxima: 1.05 [m]
- Densidad de empacado máxima: [350 Kg/m³]

Figura 21. Flujoograma para el cálculo del flujo másico de vapor, para plantas tipo “Muy absorbentes”



Fuente: trabajo de grado LOPEZ, Edinson y CARVAJAL, José Manuel.

Cálculo de requerimientos máximos de vapor para distribuidor.

Tiempo de calentamiento (T_c):

Tabla 6. Parámetros máximos de diseño del distribuidor para el calentamiento

PARÁMETROS MÁXIMOS DE DISEÑO			
DATOS	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
M_h	70	Kg	Masa del material vegetal
\dot{m}_l	0.9642	Kg/min	Flujo másico de vapor referencia
M_s	50	Kg	Masa de calentamiento del recipiente
ρ_h	350	Kg/m ³	Densidad de empacado del material vegetal
C_{pl}		KJ/Kg °C	Calor específico del material vegetal, su valor depende de cada una de las 6 especies.
C_{ps}	0.526	KJ/Kg °C	Calor específico del acero del recipiente, SA 240 Grado 304
ΔT	97	°C	Delta de temperatura ambiente en Bucaramanga, a régimen del proceso (23°C→120°C)
h_{fg}	2257	KJ/Kg	Calor latente de vaporización del agua
V	0.2	m ³	Volumen máximo de la carga, igual a volumen de requerimiento

Fuente: autores del proyecto

- 1) Cálculo del M_{vcs} (de acuerdo al flujograma y los datos de la tabla):

$$M_{vcs} = \frac{M_s * C_{ps} * \Delta T}{h_{fg}} = \frac{50 * 0.526 * 97}{2257} = 1.13 \text{ [Kg]}$$

- 2) Cálculo del M_{vch} :

Con valor promedio de $C_{pl} = 3.274$, para plantas “muy absorbentes”

$$M_{vch} = \frac{M_h * C_{pl} * \Delta T}{h_{fg}} = \frac{70 * 3.274 * 97}{2257} = 9.85 \text{ [Kg]}$$

Donde: $M_h = \rho_h * V = 350 * 0.2 = 70 \text{ [Kg]}$

3) Cálculo de T_c :

$$T_c = \frac{M_{vcs} + M_{vch}}{\dot{m}_l} = \frac{M_{ct}}{\dot{m}_l} = \frac{10.98}{0.9642} = 11.4 \text{ [min]}$$

Tabla 7. Resultados de requerimientos máximos de calentamiento

RESULTADOS DE REQUERIMIENTOS MÁXIMOS DE CALENTAMIENTO			
DATOS	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
M_{vcs}	1.13	Kg	Masa de vapor requerida para calentamiento del recipiente
M_{vch}	9.85	Kg	Masa de vapor requerida para calentamiento de la hierba
M_{ct}	10.98	Kg	Masa de vapor requerida para calentamiento del sistema
T_c	11.4	min	Tiempo de calentamiento estimado

Fuente: autores del proyecto.

Tiempo de extracción (T_e):

Tabla 8. Parámetros máximos de diseño del distribuidor para la extracción

PARÁMETROS MÁXIMOS DE DISEÑO			
DATOS	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
ρ	350	Kg/m ³	Densidad de empaqueo referencia máxima
ρ_l	350	Kg/m ³	Densidad de empaqueo real máxima
H	1.05	m	Altura de la carga máxima
A	0.185	m ²	Área transversal de la carga
s		m	Incremento de aceite, depende de cada especie
t		min	Tiempo básico, depende de cada especie

Fuente: autores del proyecto.

1) Factor de corrección de densidad (f_{cd}):

$$f_{cd} = \frac{(A - 0.00664(\rho_l * H * A)^{2/3})}{(A - 0.00664(M_h)^{2/3})} = \frac{(0.185 - 0.00664(350 * 1.05 * 0.185)^{2/3})}{(A - 0.00664(70)^{2/3})} = 1.03$$

2) Tiempo básico corregido (t_c):

Tomando el dato $t=10.157$ de la planta referencia: limonaria de acuerdo a referencia¹⁰

$$t_c = \frac{t}{f_{cd}} = \frac{10.157}{1.03} = 9.9 \text{ [min]}$$

3) Altura virtual de la carga (H_v):

$$H_v = \frac{H \cdot \rho}{\rho_l} = \frac{1.05 \cdot 350}{350} = 1.05 \text{ [m]}$$

4) Tiempo de extracción (t_e):

Tomando el dato $s=0.264$ [m] de la planta referencia: limonaria de acuerdo a referencia⁶

$$t_e = t_c * \sqrt{1 + H_v/s} = 9.9 * \sqrt{1 + 1.05/0.264} = 22.1 \text{ [min]}$$

Tabla 9. Resultados de requerimientos máximos de extracción

RESULTADOS DE REQUERIMIENTOS MÁXIMOS DE EXTRACCIÓN			
DATOS	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
f_{cd}	1.03	Adim	Factor de corrección de la densidad de empacado
t_c	9.9	min	Tiempo básico corregido
H_v	1.05	m	Altura corregida de la carga
t_e	22.1	min	Tiempo de extracción

Fuente: autores del proyecto.

Cálculo del flujo másico de vapor ideal (\dot{m}_v):

1) Tiempo de proceso (t_{pr}):

$$t_{pr} = t_c + t_e = 11.4 + 22.1 = 33.5 \text{ [min]}$$

¹⁰ Trabajo de grado Edinson Arenales y José Carvajal.

2) Masa de vapor requerida (M_{vr}):

$$M_{vr} = \dot{m}_l * t_{pr} = 0.9642 * 33.5 = 32.3 \text{ [Kg]}$$

3) Flujo másico de vapor requerido (\dot{m}_v):

$$\dot{m}_v = M_{vr} / t_{pr} = 32.3 / 33.5 = 0.964 \text{ [Kg/min]}$$

Tabla 10. Resultados del cálculo de flujo másico de vapor ideal

RESULTADOS DE REQUERIMIENTOS MÁXIMOS DE EXTRACCIÓN			
DATOS	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
t_{pr}	33.5	min	Tiempo total del proceso
M_{vr}	32.3	Kg	Masa de vapor total requerida para el proceso
\dot{m}_v	0.964	Kg/min	Flujo másico de vapor requerido para la condición de carga máxima con hierba tipo "Muy absorbente"

Fuente: autores del proyecto.

b) Procedimiento para "Ligeramente absorbentes".

Los parámetros más exigentes son aquellos manipulables en su máxima condición:

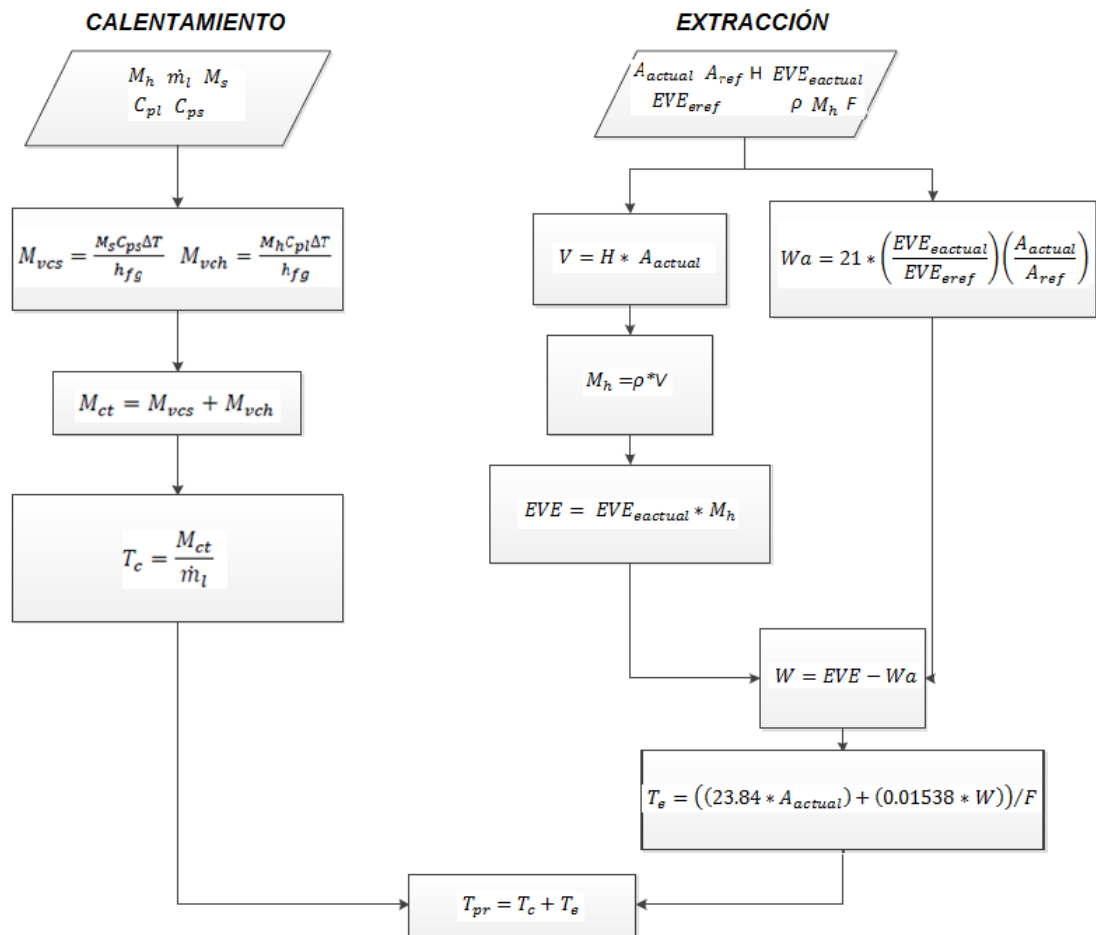
- Altura de carga máxima: 1.05 [m]
- Densidad de empacado máxima: [350 Kg/m³]

Como para este tipo de hierba lo importante no es determinar cuál es el flujo de vapor ideal, si no cuánto es el tiempo necesario para el proceso sin desperdicio de vapor, se fija el flujo másico de vapor máximo determinado en los cálculos de tipo "muy absorbentes". Esto porque garantiza el tiempo más corto posible para el proceso dentro de las capacidades diseñadas. Sin embargo, puede graduarse el

flujo en un valor menor y realizar el procedimiento mecánico desarrollado en adelante, caracterizando los nuevos resultados.

Dicho flujo másico es: $\dot{m}_v = 0.964 \left[\frac{Kg}{min} \right]$, el cual equivale a un caudal de $F = 0.964 \left[\frac{L}{min} \right]$, bajo las condiciones estimadas del proceso.

Figura 22. Flujograma para el cálculo del flujo másico de vapor, para plantas tipo “Ligeramente absorbentes”



Fuente: autores del proyecto.

Cálculo de tiempo ideal de la destilación.

Tiempo de calentamiento (T_c):

Tabla 11. Parámetros para cálculo del tiempo de calentamiento

PARÁMETROS INICIALES			
DATOS	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
M_h	70	Kg	Masa del material vegetal
\dot{m}_l	0.9642	Kg/min	Flujo másico de vapor
M_s	50	Kg	Masa de calentamiento del recipiente
ρ_h	350	Kg/m ³	Densidad de empacado del material vegetal
C_{pl}		KJ/Kg °C	Calor específico del material vegetal, su valor depende de cada una de las 6 especies.
C_{ps}	0.526	KJ/Kg °C	Calor específico del acero del recipiente, SA 240 Grado 304
ΔT	97	°C	Delta de temperatura ambiente en Bucaramanga, a régimen del proceso (23°C→120°C)
h_{fg}	2257	KJ/Kg	Calor latente de vaporización del agua

Fuente: autores del proyecto

- 1) Cálculo del M_{vcs} (de acuerdo al flujograma y los datos de la tabla):

$$M_{vcs} = \frac{M_s * C_{ps} * \Delta T}{h_{fg}} = \frac{50 * 0.526 * 97}{2257} = 1.13 \text{ [Kg]}$$

- 2) Cálculo del M_{vch} :

Con valor promedio de $C_{pl} = 3.274$, para plantas “muy absorbentes”

$$M_{vch} = \frac{M_h * C_{pl} * \Delta T}{h_{fg}} = \frac{70 * 3.274 * 97}{2257} = 9.85 \text{ [Kg]}$$

Donde: $M_h = \rho_h * V = 350 * 0.2 = 70 \text{ [Kg]}$

3) Cálculo de T_c :

$$T_c = \frac{M_{vcs} + M_{vch} - M_{ct}}{\dot{m}_l} = \frac{10.98}{0.9642} = 11.4 \text{ [min]}$$

Tabla 12. Resultados de requerimientos máximos de calentamiento

RESULTADOS DE REQUERIMIENTOS MÁXIMOS DE CALENTAMIENTO			
DATOS	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
M_{vcs}	1.13	Kg	Masa de vapor requerida para calentamiento del recipiente
M_{vch}	9.85	Kg	Masa de vapor requerida para calentamiento de la hierba
M_{ct}	10.98	Kg	Masa de vapor requerida para calentamiento del sistema
T_c	11.4	min	Tiempo de calentamiento estimado

Fuente: autores del proyecto.

Tiempo de extracción (T_e):

Tabla 13. Parámetros para cálculo del tiempo de extracción

PARÁMETROS INICIALES			
DATOS	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
A_{actual}	0.1901	m ²	Área transversal del recipiente
A_{ref}	1.096	m ²	Área transversal del recipiente referencia
H	1.05	m	Altura máxima de la carga
$\rho_h = \rho$	350	Kg/m ³	Densidad de empacado del material vegetal
M_h	70	Kg	Masa máxima de hierba de la carga
F	0.964	L/min	Caudal del agua (vapor de agua condensado)
$EVE_{eactual}$	7.8404	mL/Kg	Contenido real de aceite por kilogramo o contenido específico, promedio de las tres plantas.
EVE_{eref}	7.514	KJ/Kg	Contenido real de aceite por kilogramo o contenido específico, referencia.

Fuente: autores del proyecto.

- 1) Cálculo del volumen de la carga (V)(de acuerdo al flujograma y los datos de la tabla):

$$V = H * A_{actual} = 1.05 * 0.1901 = 0.199605 [m^3]$$

- 2) Cálculo del contenido de aceite total de la carga (EVE):

$$EVE = EVE_{eactual} * M_h = 7.8404 * 70 = 548.82 [mL]$$

- 3) Cálculo del aceite no recuperable (W_a, e):

Este valor es el resultado del análisis de la Figura 12, que nos indica un punto de equilibrio costo-beneficio. Luego de este punto, el costo de la extracción sobrepasa el costo del poco aceite extraído. W_a , es tal cantidad de aceite. De acuerdo a los costos de los experimentos de Tim Denny, se hace la similitud para calcular la cantidad de este caso. Dichos costos deben ser calculados, posteriormente, para la realidad del sitio de instalación de cada equipo.

$$W_a = 21 * \left(\frac{EVE_{eactual}}{EVE_{eref}} \right) \left(\frac{A_{actual}}{A_{ref}} \right) = 21 * \left(\frac{7.8404}{7.514} \right) \left(\frac{0.1901}{1.096} \right) = 3.8 [mL]$$

- 4) Cálculo del aceite recuperable (W):

$$W = EVE - W_a = 548.82 - 3.8 = 545.02 [mL]$$

- 5) Cálculo del tiempo de extracción (T_e):

$$T_e = ((23.84 * A_{actual}) + (0.01538 * W)) / F$$

$$T_e = ((23.84 * 0.1901) + (0.01538 * 545.02)) / 0.964$$

$$T_e = 14 [min]$$

Tabla 14. Resultados de cálculos para tiempo de extracción

RESULTADOS DE REQUERIMIENTOS MÁXIMOS DE CALENTAMIENTO			
DATOS	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
V	0.199605	m ³	Volumen de la carga
EVE	548.82	mL	Contenido total de aceite de la carga
Wa	3.8	mL	Cantidad de aceite no recuperable
W	545.02	mL	Cantidad de aceite recuperable
T_e	14	min	Tiempo de extracción recomendado

Fuente: autores del proyecto.

Tiempo total del proceso (T_{pr}):

$$T_{pr} = T_c + T_e = 11.4 + 14 \text{ [min]}$$

3.3.2.2 Diámetro y tubo normalizados del distribuidor. El distribuidor debe ser capaz de entregar el flujo de vapor máximo calculado, de acuerdo a los estándares para el flujo de vapor en tuberías.

Cuadro 1. Velocidades razonables para el flujo de vapor en tuberías

Condiciones del vapor de agua	Presión bar (p) (libras/pulg ²)	Servicio	Velocidad razonable metros por minuto (pies por minuto) (V)
Saturado	0 a 1.7 (0 a 29)	Calefacción (líneas cortas)	1200 a 1800 (4000 a 6000)
	mayor de 1.7 (mayor de 25)	Equipo centrales térmicas, tubería de proceso, etc.	1800 a 3000 (6000 a 10 000)
Sobrecalentado	mayor de 14 (mayor de 200)	Conexiones de calderas, turbinas, etc.	2000 a 6000 (7000 a 20 000)

Fuente: Crane.

Crane¹¹ establece la siguiente fórmula para la determinación del diámetro interno de la tubería, de acuerdo a los valores de la tabla y los valores determinados en los requerimientos de vapor.

$$d = \sqrt{21220 * \dot{m}_v * \nabla / \vartheta}$$

Tabla 15. Cálculo del diámetro interno del distribuidor de vapor

RESULTADOS DE REQUERIMIENTOS MÁXIMOS DE CALENTAMIENTO			
DATOS	VALORES	UNIDADES	OBSERVACIÓN
\dot{m}_v = \dot{m}_l	0.9642 (57.852)	Kg/min (Kg/h)	Flujo másico máximo de vapor
∇	0.8164	m ³ /K g	Volumen específico del vapor a las condiciones de flujo (vapor saturado, 23 [psi], 123 [°C])
ϑ	3000	m/min	Velocidad máxima recomendable, teniendo en cuenta que la presión de diseño de este equipo son 60 [psi],

Fuente: autores del proyecto.

$$d = \sqrt{21220 * \dot{m}_v * \nabla / \vartheta} = \sqrt{21220 * 57.852 * 0.8164 / 3000} = 18.27 \text{ [mm]}$$

De acuerdo a la tabla B-15 del libro de Crane⁷, el tubo que cumple con esta característica es:

- Tubería de acero inoxidable:
 - **Cédula 5S**
 - i. **Diámetro nominal: ¾ in**

¹¹ Libro Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

ii. Diámetro interior: 23.4 mm

iii. Diámetro exterior 26.7 mm

- Estas dimensiones deben cumplirlas las tuberías correspondientes al presente diseño, como lo son la tubería rígida para el rotámetro y la válvula de paso, y la tubería que alimenta al distribuidor.

- Por razones de comodidad de construcción e instalación, el tubo del distribuidor, corresponderá a la siguiente especificación:
 - **Cédula 5S**
 - i. Diámetro nominal: ½ in**
 - ii. Diámetro interior: 18 mm**
 - iii. Diámetro exterior: 21.3 mm**

Estas medidas satisfacen plenamente también la recomendación, pues en realidad, por cada tramo de este tubo está pasando ¼ del caudal total, guardándose así el requerimiento.

3.3.2.3 Diámetro de la circunferencia del distribuidor y longitud de los tubos en cruz.

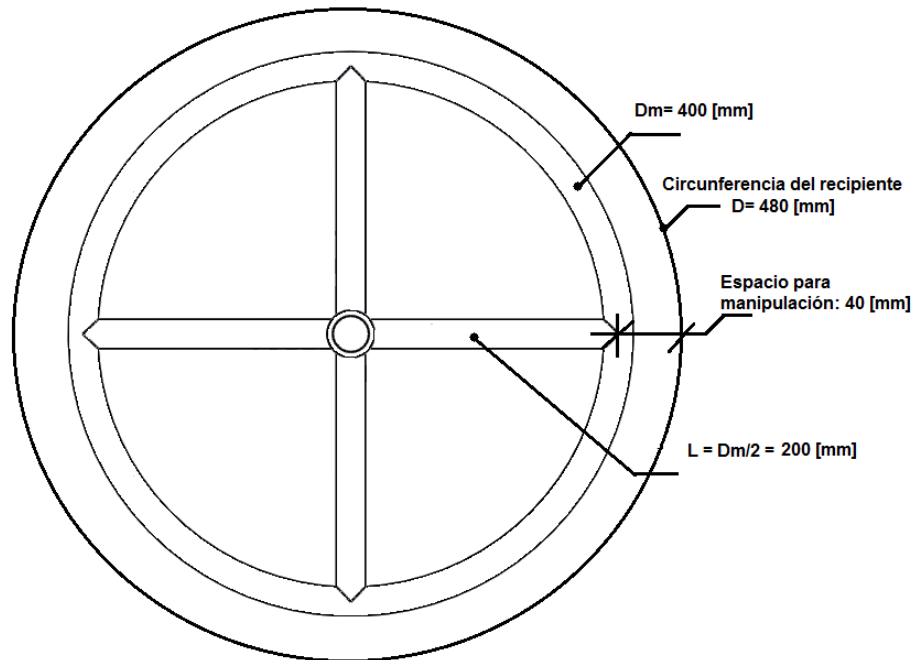
Diámetro medio del tubo en circunferencia:

Este diámetro debe ser dimensionado de tal modo que se facilite la manipulación del distribuidor, tanto para su montaje como para su desmontaje, pues va sujeto al tubo de alimentación a través de una rosca, como se puede observar en los planos de construcción correspondientes. Para esto, el espacio disponible entre dicho diámetro y la superficie de la pared del recipiente es de 4 [cm] a cada lado.

Por lo tanto:

- Diámetro medio del distribuidor: $D_m = 480 - 80 = 400$ [mm]
- Longitud de cada sección recta de los tubos en cruz: $L = D_m/2 = 200$ [mm]

Figura 23. Esquema diámetro medio de la circunferencia del distribuidor y longitud de los tubos en cruz



Fuente: autores del proyecto.

3.3.2.4 Diseño de los orificios del distribuidor. Los agujeros del distribuidor deben contribuir con la finalidad de distribuidor: garantizar la homogeneidad del flujo del vapor a través de la sección transversal de la carga. Para esto se ha diseñado la siguiente distribución de los agujeros y sus tamaños apropiados.

Determinación de número de orificios

El número de orificios debe ser tal que la suma de todas sus áreas transversales sea igual o mayor al área transversal del distribuidor de vapor.

Abriendo las perforaciones con broca **1/8 in**:

- Área transversal tubo de alimentación: $A_1 = \frac{\pi}{4} * (\phi_1^2) = \frac{\pi}{4} * (18^2) = 254.5 [mm^2]$
- Área transversal orificios: $A_2 = \frac{\pi}{4} * (\phi_2^2) = \frac{\pi}{4} * (3.175^2) = 7.917 [mm^2]$
- N=número mínimo de orificios= $A_1/A_2 = 254.5/7.917 = 32.1 = 33$

Cantidad y ubicación de los orificios en los tubos en cruz.

- ***Número de orificios a perforar en los tubos en cruz:***

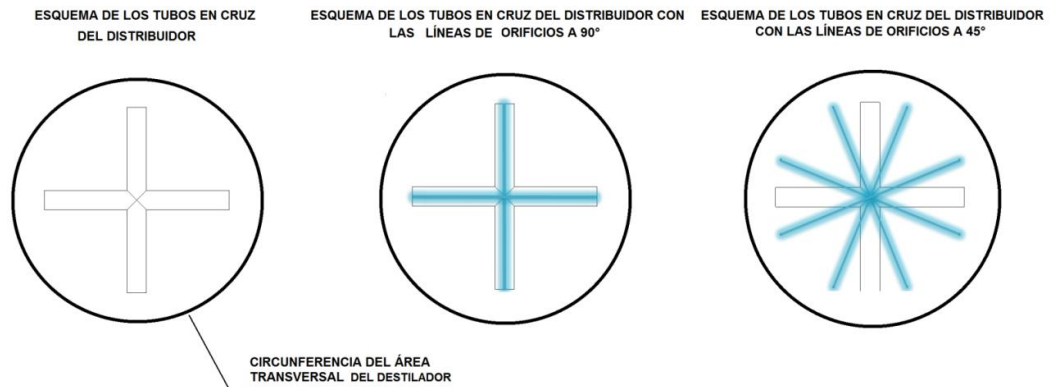
Se calcula la longitud total de la tubería del distribuidor y se halla la cantidad de perforaciones correspondientes a los tubos en cruz, así:

- Longitud de la circunferencia: $L_c = \pi * \phi = \pi * 400 = 1256.6 [mm]$
- Longitud de los tubos en cruz: $L_{tc} = 4 * L = 4 * 200 = 800 [mm]$
- Longitud total: $L_T = L_c + L_{tc} = 800 + 1257 = 2057 [mm]$
- Número de orificios: $N = \frac{800 * 33}{2057} = 13$. Aproximando este valor, al múltiplo de 4 mayor para conseguir igual número de perforaciones en cada tramo, **N=16**.

- ***Ubicación de los orificios***

La Figura 24 es un esquema comparativo que indica cómo es la dispersión del vapor de acuerdo a la inclinación de los orificios en los tubos en cruz del distribuidor, en donde se puede observar cómo la configuración a 45° distribuye de más uniformemente el vapor de la sección transversal diagramada por la circunferencia negra, en comparación con la configuración a 90°.

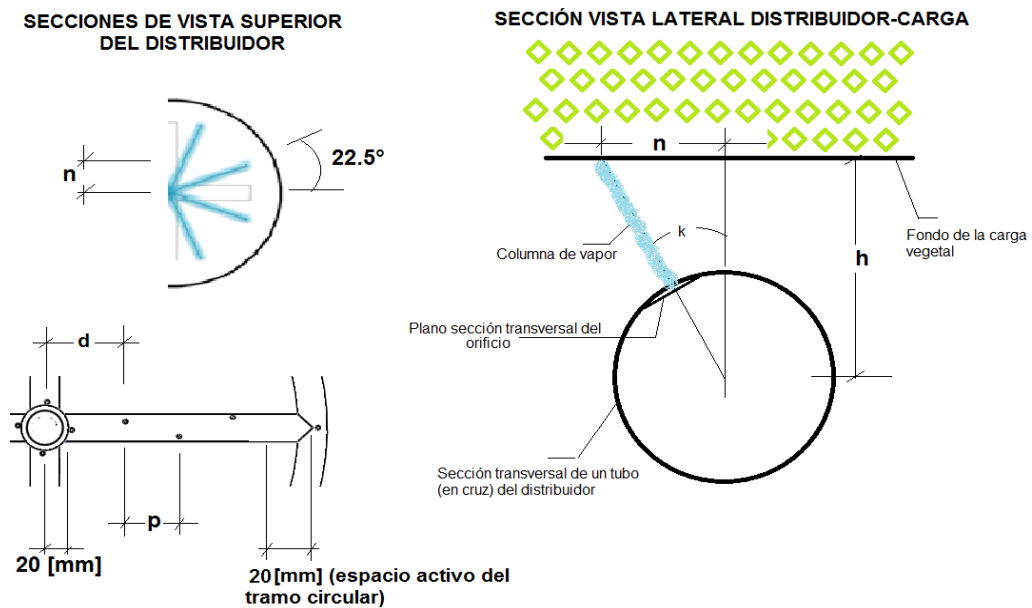
Figura 24. Esquemas de aspersión del vapor de acuerdo con la inclinación de las perforaciones en los tubos en cruz.



Fuente: autores del proyecto.

La Figura 25, esquematiza los ángulos para el cálculo de la inclinación de los orificios del distribuidor.

Figura 25. Esquema de ángulos y distancias para el cálculo de la inclinación de los orificios del distribuidor



Fuente: autores del proyecto.

De la Figura 25:

- Paso entre los orificios, $p = (200 - 20 - 20)/4 = 40$ [mm]

Para el orificio más cercano al centro:

- Distancia del centro del distribuidor al centro del orificio, $d = 20$ [mm]
- Distancia horizontal del punto medio de aplicación de la columna al eje longitudinal del tubo, $n = d * \tan(22.5) = 8.284$ [mm]
- Ángulo de perforación del orificio, $k = \tan^{-1}(n/49) = 9.6 \approx 10^\circ$

Tabla 16. Medidas para la ubicación (inclinación respecto a la vertical) de los 4 orificios por tubo

Medida No. Orificio (por tubo)	d [mm]	n [mm]	k [deg]
1	20	8.3	10
2	60	25	27
3	100	41.4	40
4	140	58	50

Fuente: autores del proyecto.

Cantidad y ubicación de los orificios en el tubo circular.

- **Número de orificios a perforar en el tubo circular:**

Se calcula la longitud total de la tubería del distribuidor y se halla la cantidad de perforaciones correspondientes a los tubos en cruz, así:

- Longitud de la circunferencia: $L_c = \pi * \varnothing = \pi * 400 = 1256.6$ [mm]
- Longitud de los tubos en cruz: $L_{tc} = 4 * L = 4 * 200 = 800$ [mm]
- Longitud total: $L_T = L_c + L_{tc} = 800 + 1257 = 2057$ [mm]

- Número de orificios: $N = \frac{1256.6 * 33}{2057} = 21$. Sin embargo se aproxima a **22**, para que cada fila tenga igual número de orificios.

- **Ubicación de los orificios**

La Figura 26 es un esquema comparativo que indica cómo es la dispersión del vapor de acuerdo a la disposición de los orificios, tanto por número de filas como por inclinación respecto a la vertical –perpendicular a la hoja-. Puede observarse que la disposición en dos líneas inclinadas mejora sustancialmente el área impregnada directamente por el vapor.

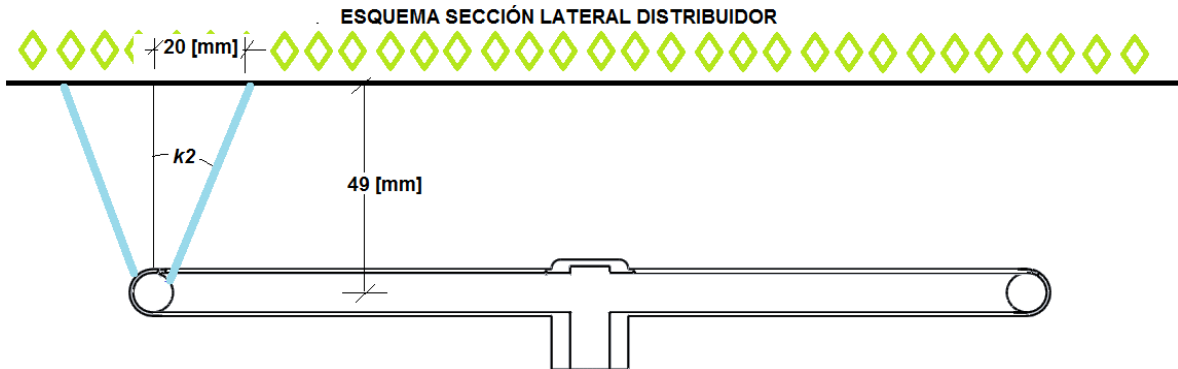
Figura 26. Esquemas de aspersión del vapor para el tubo circular de acuerdo con la disposición de los orificios



Fuente: autores del proyecto.

La Figura 27 esquematiza los ángulos para el cálculo de la inclinación de los orificios del distribuidor.

Figura 27. Esquema de ángulos y distancias para el cálculo de la inclinación de los orificios del distribuidor.



Fuente: autores del proyecto.

- Distancia del centro del diámetro medio del tubo circular al punto medio de aplicación del vapor, $n = 20$ [mm]
- Distancia del plano medio del distribuidor al fondo de la carga, $m = 49$ [mm]
- Ángulo de perforación del orificio, $k2 = \tan^{-1}(n/m) = 22.2 \approx 22^\circ$

Resultados finales orificios del distribuidor

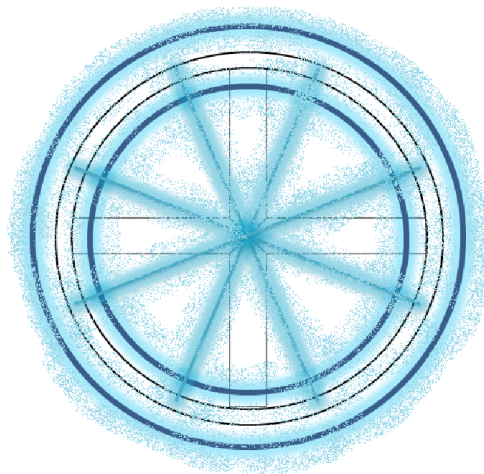
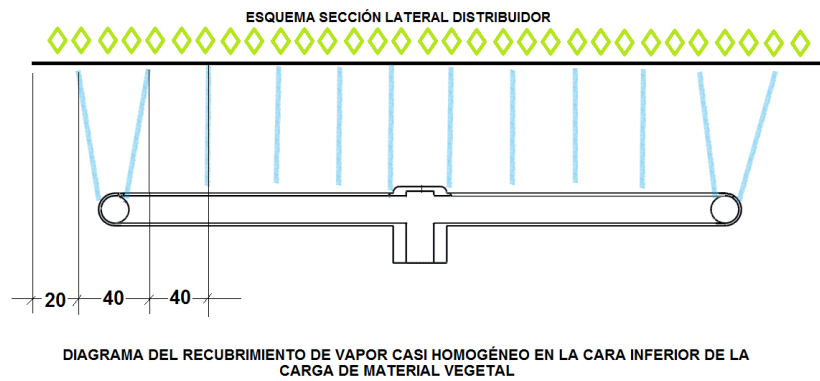
- Número total de orificios: **22+16= 38**.
38 > N = 33. El número de orificios es válido.

La Figura 28, muestra cómo la distribución de los tubos en cruz y en círculo, forman en conjunto, una densidad de columnas de vapor homogénea, tanto para la sección lateral como para la transversal; esto gracias al cuidadoso diseño de la distribución de los orificios. El diagrama inferior de la figura, muestra cómo el vapor se reparte de forma casi homogénea sobre la cara inferior de la carga vegetal. El diagrama superior de la figura, muestra cómo se logra que las

columnas de vapor sean equidistantes. Las anteriores dos características son el objetivo final del diseño detallado de la ubicación de los orificios.

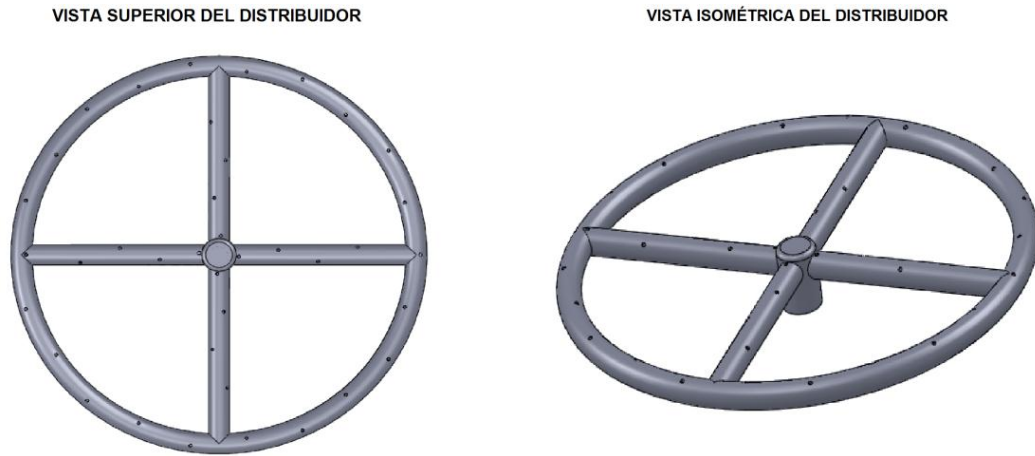
Es así que se puede garantizar que el diseño del distribuidor hará un gran aporte sobre la eficiencia y la homogeneidad en la destilación del material, tanto para fines experimentales con cualquier carga posible, como para fines industriales con tiempos reducidos de carga, descarga, y extracción.

Figura 28. Esquema de la homogeneidad de la distribución del vapor sobre la cara inferior de la carga



Fuente: autores del proyecto.

Figura 29. Modelamiento final del distribuidor del vapor



Fuente: autores del proyecto.

3.4 DISTRIBUIDOR CIRCUNFERENCIAL DE PRESIÓN

Como se mencionó en la evolución del diseño y en la teoría de la destilación, la homogeneidad en el flujo del vapor a través del área transversal es fundamental en la calidad y la eficiencia económica de la destilación. Para esto, ya se han diseñado el distribuidor del vapor, se ha discutido la importancia de la buena distribución del material y, ahora, se aborda el tema de la distribución de las presiones en el área transversal del equipo.

La disposición lateral de la boquilla del destilador, como se ha mencionado, es una mejora para la maniobrabilidad del equipo, pero induce al vapor a dejar grandes espacios sin líneas de flujo y, por lo tanto, sin extracción del aceite.

Este elemento ha sido tomado del diseño de intercambiadores de calor, diseño que contempla este dispositivo cuando se requiere garantizar un delta de presión igual para cada uno de los tubos, pero su distribución y la geometría del cabezal y

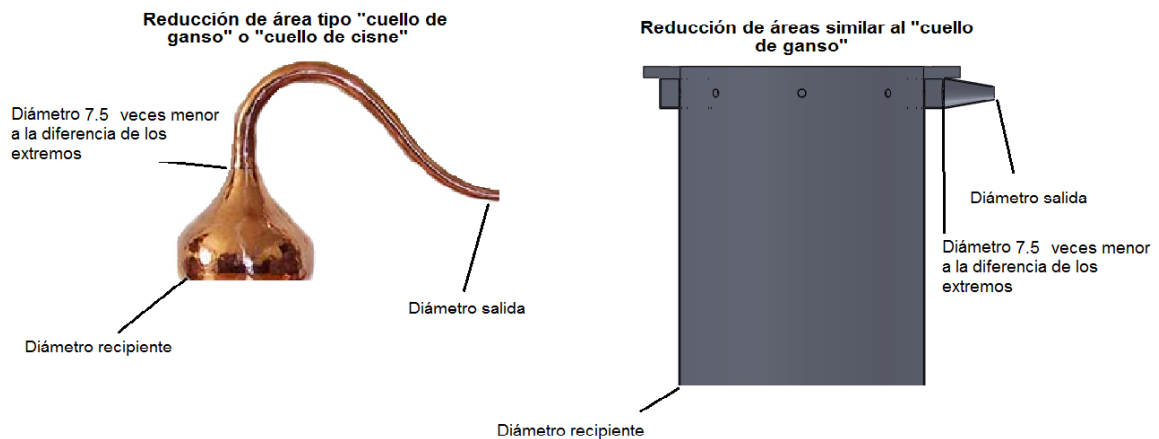
la placa porta tubos no lo favorecen. En estos casos, se adiciona un “distribuidor circunferencial de presión”, del cual se toma la teoría y el nombre.

Las figuras 17 y 18 diagraman la función de este dispositivo, para su mejor comprensión.

El dirigir el flujo hacia un costado, haciéndole perder la simetría tiene además el inconveniente que se solucionaba con el llamado “cuello de ganso”, la boquilla tradicionalmente usada: la reducción suave del flujo hasta un el punto en que ya no se pueden presentar problemas por reflujos. Es por esto que se decidió asemejar el flujo del diseño actual con dicho flujo, criterio para el dimensionamiento.

3.4.1 Dimensionamiento del canal y orificios

Figura 30. Proporciones para la determinación del tamaño del distribuidor



Fuente: autores del proyecto

La Figura 30, muestra una relación usada para la reducción del diámetro –y por ende el área-, en los destiladores tradicionales.

Debe tenerse en cuenta que esta reducción no realmente no asegura el flujo laminar en todo el trayecto, pues el paso por los orificios del distribuidor genera turbulencias considerables, sin embargo, las demás partes influyen de manera importante en favor de dicho comportamiento.

La relación sobre la cual varían varios cuellos de ganso es:

$$\phi_1 - \phi_3/n \cong \phi_2$$

Donde:

- $n=7.5$
- $\phi_1 = \text{Diámetro de envolvente}$
- $\phi_2 = \text{Diámetro de reducción principal}$
- $\phi_3 = \text{Diámetro de salida}$

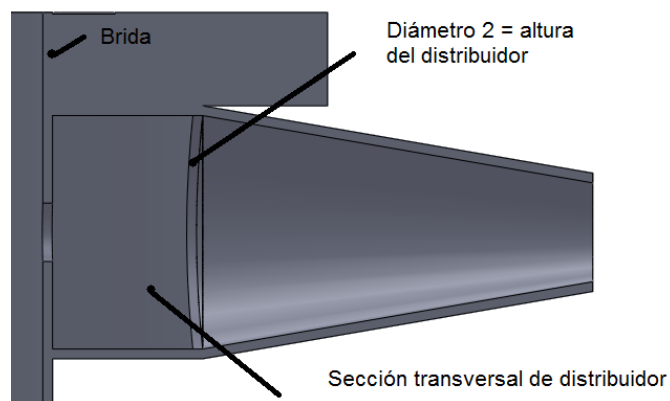
Para el presente proyecto:

- $n=7.5$
- $\phi_1 = 486 [mm]$
- $\phi_3 = 25.4 [mm](1 \text{ pulgada})$

Así:

$$\phi_2 = 61.41333 \approx 60[mm]$$

Figura 31. Relación diámetro 2/altura del distribuidor



Fuente: autores del proyecto.

De este modo, para evitar turbulencias excesivas:

- $h =$ altura del área transversal del distribuidor
- $b =$ base del área transversal del distribuidor

$$\phi_2 = h = \mathbf{60 \text{ [mm]}}$$

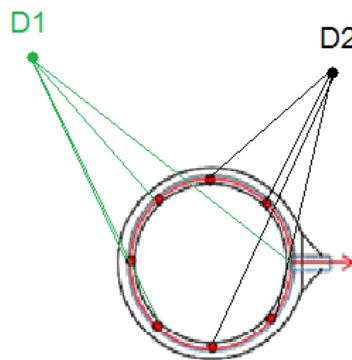
Ahora, con las anteriores consideraciones, con el uso del simulador de flujos “SolidWorks FluXpress”, y luego de varias iteraciones que variaron los distintos factores en juego, se encontró que las siguientes son las mejores dimensiones finales para el distribuidor:

- $b = 36 \text{ [mm]}$
- $\phi_{h1} =$ diámetro 1 huecos del distribuidor = 16 [mm]
- $\phi_{h2} =$ diámetro 2 huecos del distribuidor = 15 [mm]

Es de resaltar la gran influencia de la diferencia entre estos diámetros y su distribución simétrica respecto a la boquilla de salida.

El Anexo B, muestra imágenes de la simulación de flujo con las últimas dimensiones.

Figura 32. Distribución y tamaños finales de los huecos del distribuidor

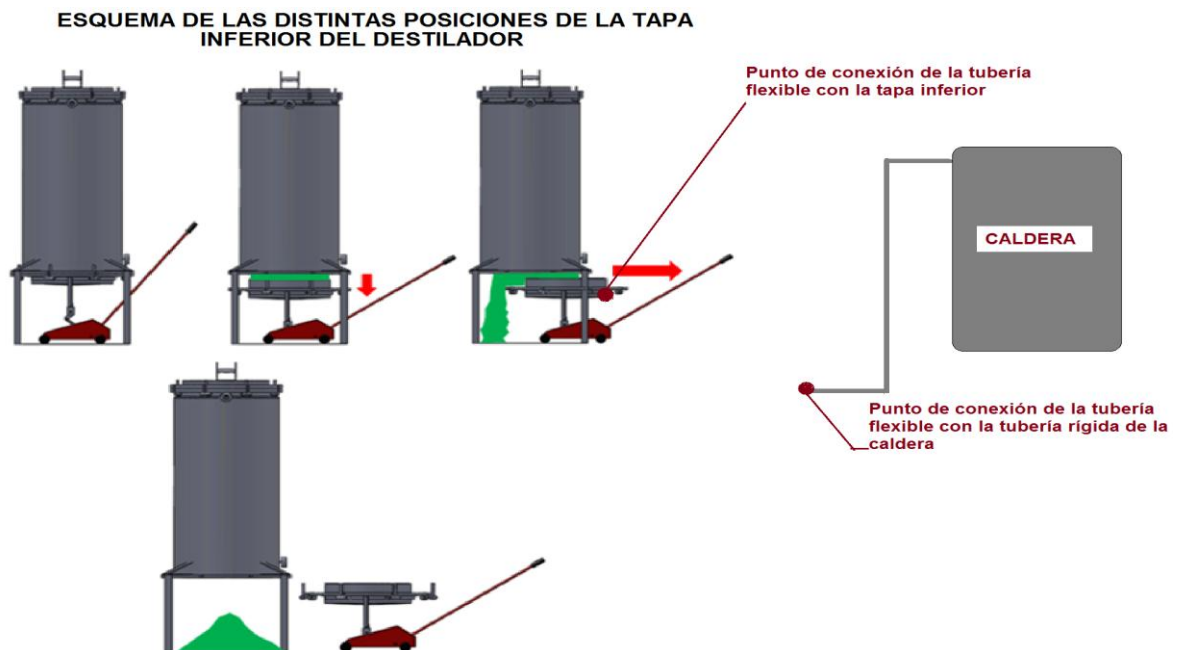


Fuente: autores del proyecto.

3.5 TUBERÍA FLEXIBLE

El vapor es conducido por una tubería desde la caldera hasta la tapa inferior del destilador, en donde se encuentra ubicado el distribuidor de vapor. Sin embargo, como puede observarse en la Figura 33, la longitud de este tramo es variable, debido a que la tapa inferior es móvil. Por esta razón, dicho tubo debe ser flexible, de modo tal que la tapa pueda ser ensamblada, desensamblada y trasladada como sea requerido.

Figura 33. Esquema de la conexión para el vapor caldera-destilador



Fuente: autores del proyecto.

3.5.1 Selección.

Para la selección de la tubería flexible, se cruzan los siguientes datos, como se indica en la Figura 34.

- Diámetro de flujo: **3/4 [in]**
- Diámetro interno catálogo: **3/4 [in]**

Figura 34. Selección por catálogo de tubería flexible

DIÁMETRO INTERIOR NOMINAL (PULGADAS)	TIPO DE MANGUERA	DIÁMETRO EXTERIOR (MM)	PESO POR METRO (KG)	LARGO VIVO PARA VIBRACIÓN (MM)	RADIO MÍNIMO DE CURVATURA		PRESIÓN MÁXIMA EN OPERACIÓN (BAR)	PRESIÓN MÁXIMA DE PRUEBA (BAR)	PRESIÓN NORMAL DE RUPTURA (BAR)
					CURVA ESTÁTICA (MM)	FLEXIBILIDAD INTERMITENTE (MM)			
1/4"	UFBX0	10.16		76	16	109	10	15	---
	UFBX1	11.43	0.16	76	25	109	167	250	667
	UFBX2	12.7	0.24	76	25	109	220	330	880
3/8"	UFBX0	14.986	0.16	89	22	152	6	8	---
	UFBX1	16.256	0.27	89	38	152	100	150	400
	UFBX2	17.526	0.37	89	38	152	178	267	712
1/2"	UFBX0	19.558	0.16	108	24	165	6	8	---
	UFBX1	21.082	0.33	108	44	165	74	111	296
	UFBX2	22.352	0.49	108	44	165	103	155	414
3/4"	UFBX0	25.908	0.27	114	30	203	4	6	---
	UFBX1	27.432	0.40	114	70	203	66	98	262
	UFBX2	28.956	0.58	114	70	203	86	129	345
1"	UFBX0	33.782	0.51	140	43	203	4	6	---
	UFBX1	35.814	0.89	140	89	203	50	75	200
	UFBX2	37.846	1.28	140	89	203	77	114	308
1 1/4"	UFBX0	41.148	0.40	152	56	254	3	5	---

Fuente: autores del proyecto.

La anterior selección es válida al comprobar que:

- P máxima = P diseño = 60 [psi] = **4.2 [bar]**, por lo tanto su uso es seguro.

Selección:

- Marca: **US. HOSE CORPORATION**
- Modelo: **UFBX_O**
- Diámetro interior nominal: **3/4 [in]**

3.6 AISLAMIENTO TÉRMICO

Las pérdidas de calor en el cuerpo del destilador generan:

- Exceso de masa de vapor para la extracción
- Exceso de tiempo
- Disminución de W (aceite recuperable), debido a reflujo
- Sobrecostos de funcionamiento
- Riesgos de seguridad para operarios y personal cercano

Para reducir tales pérdidas de calor al mínimo, se aísla térmicamente al cuerpo del destilador. La tecnología para estos aislamientos es ampliamente tratada y desarrollada por la industria del sector térmico, con tecnologías de alta calidad y desempeño y precios bastante asequibles.

Los planos de construcción detallan la disposición detallada del material.

3.6.1 Selección. El catálogo de la marca “Fiberglass”, presenta varias opciones para el aislamiento industrial, dentro de las cuales, la mostrada en la Figura. 35, cumple con las características más adecuadas para el equipo.

El espesor requerido, por recomendaciones de temperaturas interna y externa, es de 2”.

Figura 35. Imagen de catálogo para el aislamiento seleccionado

CAÑUELA AMPLIO RANGO

DESCRIPCIÓN

Lána de vidrio rígida, preformada en forma de medias cañas para aislar tuberías calientes y frías, con temperaturas hasta 454°C (850°F) y con diámetro nominal desde ½" hasta 12". Disponible con y sin laminado de foil de aluminio FRK.

USO

Para aislar sistemas de tuberías, incluyendo las de transporte de vapor, calefacción, enfriamiento, agua para uso doméstico caliente, fría, sistemas sanitarios y tuberías especializadas en plantas de potencia y procesos industriales.

DIMENSIONES

Diámetro: Desde ½" hasta 12" en espesores de aislamiento desde 1" a 3". Para especificar mayores espesores, diferentes a los nominales: Hasta 4", se puede usar 1 ó varias capas anidadas.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Conductividad térmica	Temperatura máxima de aplicación	Características de quemado superficial
0,035 W/°C.m². Valor típico (0,24 BTU.in/h.°f.ft²) a 75°F ASTM C518.	hasta 454°C(850 °F) ASTM C411	Sin recubrimiento: FS/SD = 25/50 Con foil expuesto: FS/SD = 5/0

ABSORCIÓN DE LA HUMEDAD

Máximo 0,2% en volumen en 96 horas a 49°C (120°F) y 95% de humedad relativa.

EMPAQUE

Tapas de cartón con termoencogible




Fuente: fibreglasscolombia.com

4. DISEÑO DE DETALLE: DISEÑO MECÁNICO

En este capítulo:

- Se determinan las dimensiones de las piezas sometidas a presión de acuerdo a la norma: ASME, SECCIÓN XIII, DIVISIÓN 1, y a las dimensiones halladas por diseño térmico.
- Se diseñarán las demás piezas no sometidas a presión de acuerdo a la resistencia de materiales.
- En el Anexo E, se muestran las validaciones CAE de algunos de los diseño que no están referenciados a ninguna norma.

4.1 DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR DE LA ENVOLVENTE

De acuerdo a las dimensiones definidas por el diseño térmico, en el numeral 3.1, y de acuerdo al procedimiento de la norma ASME:

Tabla 17. Parámetros para el diseño de la envolvente

DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
P_c	psi	2	Presión máxima de expansión de la carga vegetal comprimida
P_v	psi	60	Presión máxima de vapor
P_o	psi	32	Presión estimada de operación
P	psi	62	Presión de diseño; P_c+P_v
S	psi	15508	Esfuerzo máximo de tensión del acero SA 240, GRADO 304

E	adim	0.7	Eficiencia de la junta. Ver tabla UW-12 de la norma ASME citada. Junta a tope, soldadura doble, de acuerdo a requerimientos UW-35 .
R	in (m)	9.57 (0.243)	Radio interno de la envolvente

Fuente: autores del proyecto.

- **Cálculo del espesor por esfuerzo circunferencial (Juntas longitudinales):**

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6P} = \frac{62 * 9.57}{15508 * 0.7 - 0.6 * 62} = 0.0549 [in] = 1.4 [mm]$$

- **Cálculo del espesor por esfuerzo longitudinal (Juntas circunferenciales):**

$$t = \frac{P * R}{2 * S * E - 0.2P} = \frac{62 * 9.57}{2 * 15508 * 0.7 - 0.2 * 62} = 0.0273 [in] = 0.7 [mm]$$

La norma indica que, el espesor t, es el mayor de los anteriores dos criterios. Por lo tanto, t= 1.4 [mm]. Sin embargo, UG-16.5, establece: “El espesor mínimo de envolventes y tapas empleados en servicio de aire comprimido o vapor de agua hechos con algún material listado en la tabla UCS-23, deberá ser mínimo de 3/32 ", libre de cualquier margen de corrosión”.

- 3/32 "= 2.38 [mm]. Estandarizando a un calibre comercial,
t = 2.5 [mm]

4.2 BRIDAS

Las bridas son los elementos de unión que nos permiten ajustar las láminas que soportan la presión a los extremos del recipiente a la envolvente ya calculada. Por lo tanto, se tienen dos juegos de bridas: brida superior y brida inferior.

A continuación se desarrollan los cálculos para las bridas.

4.2.1 Brida superior

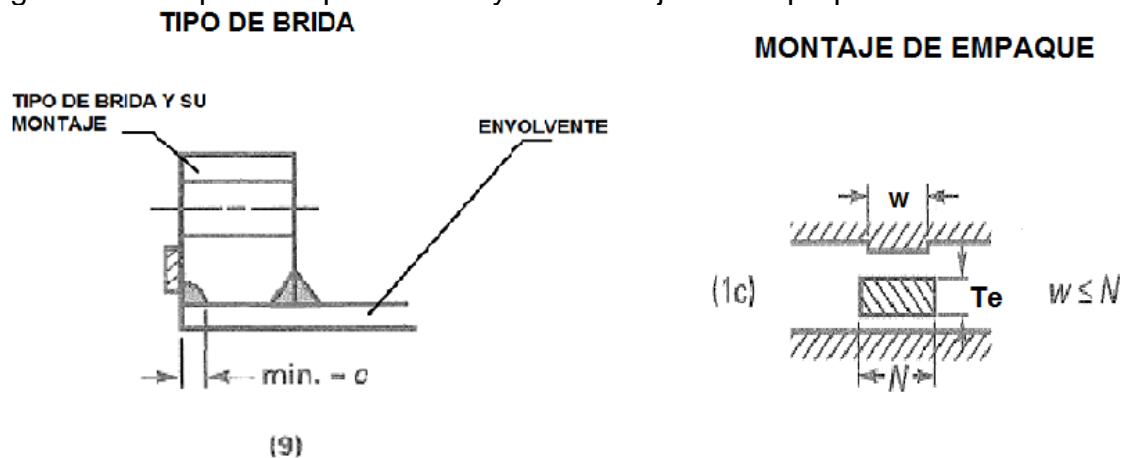
Para esta brida:

- La apertura de la tapa superior es pivotada con bisagra
- La tapa superior sirve para realizar la carga del material vegetal. La brida sirve de apoyo para la compactación (ver Anexo G, Manual de Operación).
- Está al final del flujo de vapor.

4.2.1.1 Tipo de brida y empaque:

La Figura 36, muestra el croquis del tipo de brida seleccionada, debido al montaje, y el tipo de empaque más conveniente. Ambas selecciones son las más convenientes.

Figura 36. Croquis del tipo de brida y del montaje del empaque seleccionados



Fuente: autores del proyecto y ASME, Sección VIII, División 1, Figuras 2-4 y 2-5.2.

Tabla 18. Parámetros iniciales para el diseño de la brida superior

DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
P	KPa (psi)	428 (62)	Presión de diseño del recipiente
w	mm	22.5	Ancho del asiento para el empaque
N	mm	40	Ancho del empaque en relajación
Te	mm	15	Alto del empaque en relajación
G	mm	566	Diámetro externo del empaque
m	adim	0.5	Coefficiente del empaque
y	KPa	11031,612	Esfuerzo unitario de compresión del empaque
S_a	KPa	344738000	Esfuerzo permisible del material del perno a temperatura ambiente: SA 193 Grado B6. Ver tabla UHA-23, ASME
S_b	KPa	146169000	Esfuerzo permisible del material del perno a temperatura de diseño: SA 193 Grado B6. Ver tabla UHA-23, ASME
S_f	Pa	158600	Resistencia del material de la brida a la temperatura de operación
C	mm	614	Diámetro de ubicación de los pernos sobre la brida
A	mm	585	Diámetro del punto más interno de la ranura para el perno
B	mm	491	Diámetro interno de la brida

Fuente: autores del proyecto.

4.2.1.2 Carga de diseño de los pernos, W. La carga de los pernos debe evaluarse para dos estados: operación y carga inicial o apriete de los pernos.

En estado de operación:

$$b_o = w + Te/2 = 18.75 \text{ [mm]}$$

$$b = 0.5\sqrt{b_o} = 2.165 \text{ [mm]}$$

$$W_{m1} = (0.785 * G^2 * P) + (2 * b * 3.14 * G * m * P)$$

$$W_{m1} = (0.785 * 566^2 * 428) + (2 * 2.165 * 3.14 * 566 * 0.5 * 428) = 109280 \text{ [N]}$$

En estado de carga inicial:

$$W_{m2} = 3.14 * b * G * y = 3.14 * 2.165 * 566 * 11031.612 = \mathbf{42448 [N]}$$

Entonces, W, es la carga mayor entre los dos estados

$$\mathbf{W= 109280 [N]}$$

4.2.1.3 Área requerida de los pernos, A_m :

$$A_{m1} = W_{m1}/S_b = 93143/146169000 = 7.7476 * 10^{-4} [m^2] = \mathbf{774.76 [mm^2]}$$

$$A_{m2} = W_{m2}/S_a = 32025/344738000 = 1.231 * 10^{-4} [m^2] = \mathbf{123.1 [mm^2]}$$

$$A_m = A_{m1} = \mathbf{774.76 [mm^2]}$$

4.2.1.4 Momento resultante en la brida:

$$M_o = W (C - G)/2 = 109280 (0.614 - 0.566)/2 = \mathbf{2623 [N]}$$

4.2.1.5 Esfuerzos sobre la brida:

De acuerdo al numeral 2-7, del Apéndice 2, División 1, Sección VIII, ASME, para el tipo de brida seleccionado, sin eje, sólo aplica el siguiente esfuerzo:

$$K = A/B = 585/491 = \mathbf{1.191}$$

$$Y=11.18$$

$S_t = S_f$ (El esfuerzo en la brida no puede ser superior a su resistencia)

$$S_t = Y * M_o/t^2 * B = 11.18 * 2623/t^2 * 0.491 = \mathbf{158600}$$

$$t = 19.44 = 19.5 \approx \mathbf{23.5 [mm]}.$$

Tabla 19. Resultados diseño de la brida superior

CÁLCULO	DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
CARGA EN LOS PERNOS	b			
	b_o	mm	18.75	Tamaño básico de asiento del empaque, ver Figura 2-5.2, ASME
	b	mm	2.165	Tamaño real de asentamiento del empaque
	W_{m1}	N	109280	Carga total de los pernos en condiciones de operación
	W_{m2}	N	42448	Carga total de los pernos en condiciones de carga inicial
	W	N	109280	Carga de diseño para los pernos. Es la mayor entre W_{m1} y W_{m2}
BRIDA	A_{m1}	mm ²	747.6	Área total de pernos requerida en condiciones de operación
	A_{m2}	mm ²	123.1	Área total de pernos requerida en condiciones de carga inicial
	A_m	mm ²	747.6	Área total mínima de pernos
	M_o	N-m	2623	Momento total sobre la brida
	Y	Adim	11.18	Factor de forma para K. Ver Figura 2-7.1. APP 2.
	K	Adim	1.191	Factor de forma
	t	mm	23.5	Espesor de la brida superior

Fuente: autores del proyecto.

4.2.1.6 Selección de los pernos:

Con los datos obtenidos, se debe realizar la selección apropiada de los pernos, que cumplan con el mínimo del área requerida y que posean la longitud necesaria para un funcionamiento adecuado.

Diámetro de los pernos

$N_p = \text{Número de pernos para la brida} = 8$

$A_m = 747.6 \text{ [mm}^2\text{]}$

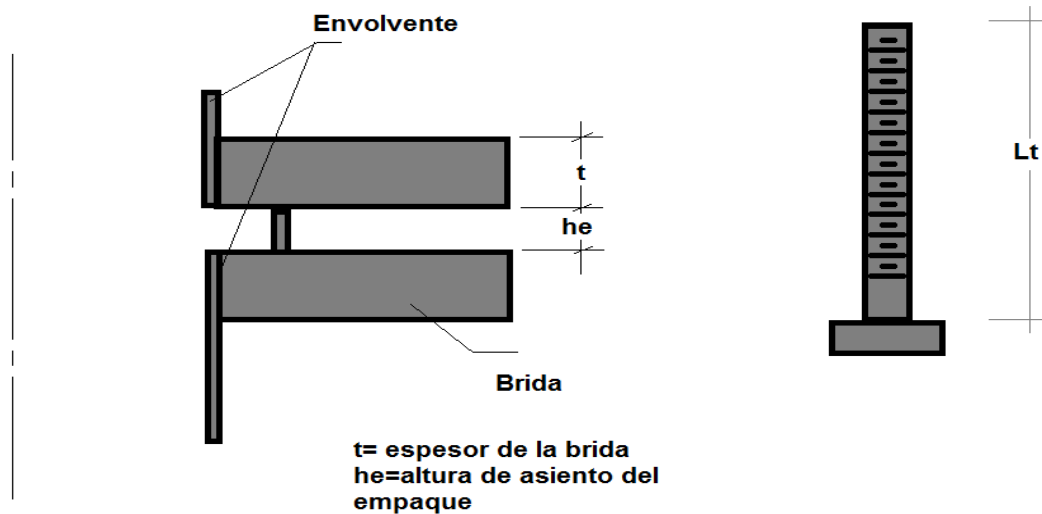
$$A_{mp} = \text{Área mínima para cada perno} = \frac{A_m}{N_p} = \frac{747.6}{8} = 93.45 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{rmp} &= \text{Diámetro raíz mínimo por perno} = \sqrt{4 * A_{mp} / \pi} = \sqrt{4 * 93.45 / \pi} \\ &= 10.9 \text{ [mm]} = 0.43 \text{ [in]} \end{aligned}$$

Longitud de los pernos

La Figura 37 muestra las dimensiones determinadas hasta el momento. Con estas dimensiones, se determina una longitud segura para el perno, así:

Figura 37. Dimensiones básicas para la longitud del tornillo



Fuente: autores del proyecto.

$$L_t = h_e + 2.5 * t = 10 + 3.4 * 23.5 = 89.9 \text{ [mm]} = 90 \text{ [mm]}$$

Selección por catálogo

Del catálogo general de DIMECO T.I., la Figura 38 muestra la selección del perno.

Figura 38. Selección perno

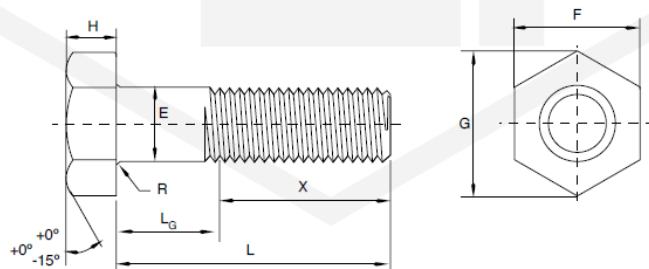


DIMECO T.I.

TORNILLOS HEXAGONALES / HEXAGONAL BOLTS

ANSI 18.2.1
SERIE NORMAL

nominal size	E	F		G		H			R		X		
											L≤6"	L>6"	
1/4	0,260	7/16	0,438	0,425	0,505	0,484	11/64	0,188	0,150	0,03	0,01	0,750	1,000
5/16	0,324	1/2	0,500	0,484	0,577	0,552	7/32	0,235	0,195	0,03	0,01	0,875	1,125
3/8	0,388	9/16	0,562	0,544	0,650	0,620	1/4	0,268	0,226	0,03	0,01	1,000	1,250
7/16	0,452	5/8	0,625	0,603	0,722	0,687	19/64	0,316	0,272	0,03	0,01	1,125	1,375
1/2	0,515	3/4	0,750	0,725	0,866	0,826	11/32	0,364	0,302	0,03	0,01	1,250	1,500
5/8	0,642	15/16	0,938	0,906	1,083	1,033	27/64	0,444	0,378	0,06	0,02	1,500	1,750
3/4	0,768	1-1/8	1,125	1,088	1,299	1,240	1/2	0,524	0,455	0,06	0,02	1,750	2,000
7/8	0,895	1-5/16	1,312	1,269	1,516	1,447	57/64	0,604	0,531	0,06	0,02	2,000	2,250



Fuente: autores del proyecto y catálogo DIMACO T.I.

L= 70 [mm]

X= 28.575 [mm]

E= 11.48 [mm]

Observación: debe tenerse presente que esta selección corresponde a la rosca estandarizada, pero el montaje completo es como se indica en los planos de construcción, para adaptarlo correctamente a la brida.

4.2.2 Brida inferior

Para esta brida:

- La apertura de la tapa inferior es coaxial con su eje longitudinal.
- La tapa inferior sirve para realizar la descarga del material vegetal.
- Está al comienzo del flujo de vapor.

La brida inferior tiene una particularidad: cada brida tiene distintos diámetros de empaques e internos; los demás siguen conservándose. Por este motivo, y por razón que el procedimiento ya ha sido detallado en el numeral anterior, a continuación se presentan sólo las tablas con datos iniciales y sus resultados. La única diferencia en el procedimiento es: $b_o = N/2$.

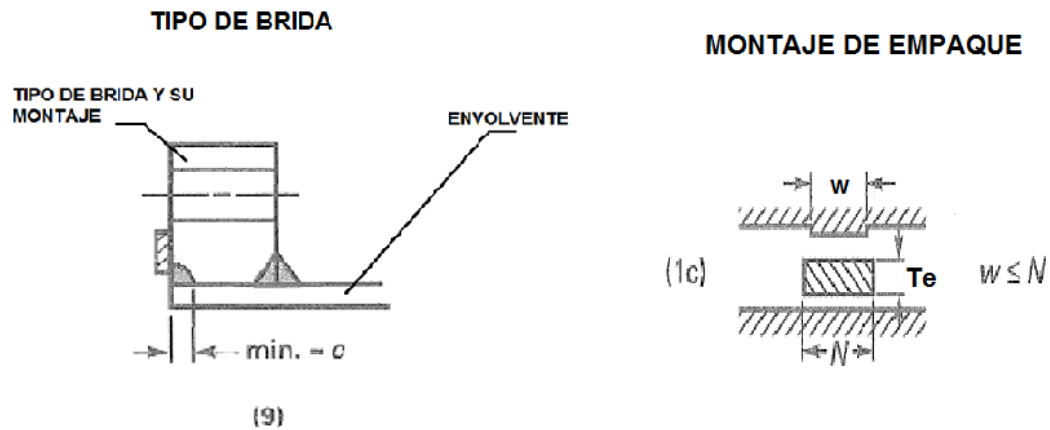
Buscando simplificar la manufactura de la brida, las dos placas de la brida tendrán el mayor de los espesores y los pernos de mayor diámetro que resulten de los dos procedimientos.

4.2.2.1 Brida inferior-superior

Tipo de brida y empaque:

La Figura 39, muestra el croquis del tipo de brida seleccionado, debido al montaje, y el tipo de empaque más conveniente. Ambas selecciones son las más convenientes.

Figura 39. Croquis del tipo de brida y del montaje del empaque seleccionados



Fuente: autores del proyecto y ASME, Sección VIII, División 1, Figuras 2-4 y 2-5.2.

Diseño

Tabla 20. Parámetros iniciales para el diseño de la brida inferior-superior

DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
P	KPa (psi)	428 (62)	Presión de diseño del recipiente
N	mm	30	Ancho del empaque en relajación
G	mm	566	Diámetro externo del empaque
m	adim	0.5	Coefficiente del empaque
y	KPa	11031,612	Esfuerzo unitario de compresión del empaque
S_a	KPa	344738000	Esfuerzo permisible del material del perno a temperatura ambiente: SA 193 Grado B6. Ver tabla UHA-23, ASME
S_b	KPa	146169000	Esfuerzo permisible del material del perno a temperatura de diseño: SA 193 Grado B6. Ver tabla UHA-23, ASME
S_f	Pa	158600	Resistencia del material de la brida a la temperatura de operación
C	mm	682	Diámetro de ubicación de los pernos sobre la brida
A	mm	653	Diámetro del punto más interno de la ranura para el perno
B	mm	491	Diámetro interno de la brida

Fuente: autores del proyecto.

Tabla 21. Resultados diseño de la brida inferior-superior

CÁLCULO	DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
PERNOS	b_o	mm	18.75	Tamaño básico de asiento del empaque, ver Figura 2-5.2, ASME
	b	mm	2.165	Tamaño real de asentamiento del empaque
	W_{m1}	N	109280	Carga total de los pernos en condiciones de operación
	W_{m2}	N	42448	Carga total de los pernos en condiciones de carga inicial
	W	N	109280	Carga de diseño para los pernos. Es la mayor entre W_{m1} y W_{m2}
BRIDA	A_{m1}	mm ²	747.6	Área total de pernos requerida en condiciones de operación
	A_{m2}	mm ²	123.1	Área total de pernos requerida en condiciones de carga inicial
	A_m	mm ²	747.6	Área total mínima de pernos
	M_o	N-m	6338	Momento total sobre la brida
	Y	Adim	6.963	Factor de forma para K. Ver Figura 2-7.1. APP 2.
	K	Adim	1.33	Factor de forma
	t	mm	26	Espesor de la brida superior

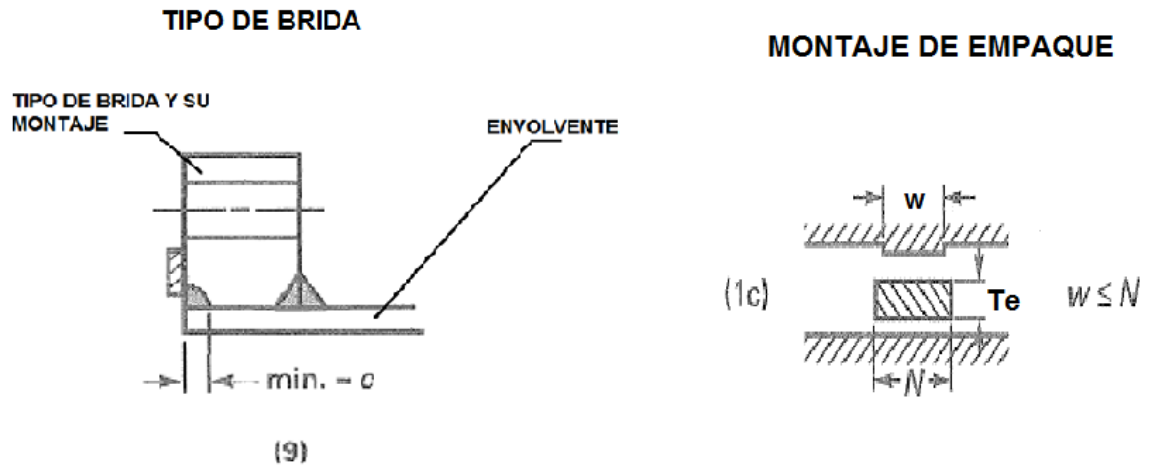
Fuente: autores del proyecto.

4.2.2.2 Brida inferior-inferior

Tipo de brida y empaque:

La Figura 40, muestra el croquis del tipo de brida seleccionado, debido al montaje, y el tipo de empaque más conveniente. Ambas selecciones son las más convenientes.

Figura 40. Croquis del tipo de brida y del montaje del empaque seleccionados para brida inferior-inferior



Fuente: autores del proyecto y ASME, Sección VIII, División 1, Figuras 2-4 y 2-5.2.

Diseño:

Tabla 22. Parámetros iniciales para el diseño de la brida inferior-inferior

DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
P	KPa (psi)	428 (62)	Presión de diseño del recipiente
N	mm	30	Ancho del empaque en relajación
G	mm	566	Diámetro externo del empaque
m	adim	0.5	Coefficiente del empaque
y	KPa	11031,612	Esfuerzo unitario de compresión del empaque
S_a	KPa	344738000	Esfuerzo permisible del material del perno a temperatura ambiente: SA 193 Grado B6. Ver tabla UHA-23, ASME
S_b	KPa	146169000	Esfuerzo permisible del material del perno a temperatura de diseño: SA 193 Grado B6. Ver tabla UHA-23, ASME
S_f	Pa	158600	Resistencia del material de la brida a la temperatura de operación
C	mm	682	Diámetro de ubicación de los pernos sobre la brida
A	mm	653	Diámetro del punto más interno de la ranura para el perno
B	mm	486	Diámetro interno de la brida

Fuente: autores del proyecto.

Tabla 23. Resultados diseño de la brida inferior-inferior

CÁLCULO	DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
PERNOS	b_o	mm	18.75	Tamaño básico de asiento del empaque, ver Figura 2-5.2, ASME
	b	mm	2.165	Tamaño real de asentamiento del empaque
	W_{m1}	N	109280	Carga total de los pernos en condiciones de operación
	W_{m2}	N	42448	Carga total de los pernos en condiciones de carga inicial
	W	N	1109280	Carga de diseño para los pernos. Es la mayor entre W_{m1} y W_{m2}
BRIDA	A_{m1}	mm ²	747.6	Área total de pernos requerida en condiciones de operación
	A_{m2}	mm ²	123.1	Área total de pernos requerida en condiciones de carga inicial
	A_m	mm ²	747.6	Área total mínima de pernos
	M_o	N-m	6338	Momento total sobre la brida
	Y	Adim	6.73	Factor de forma para K. Ver Figura 2-7.1. APP 2.
	K	Adim	1.344	Factor de forma
	t	mm	23.57	Espesor de la brida superior

Fuente: autores del proyecto.

4.2.2.3 Resultados finales para las dos placas de la brida inferior. La brida inferior-superior es la de los parámetros más exigentes, por esto, sus dimensiones serán las definitivas para ambas placas. Se debe tener cuidado en mantener, para la placa inferior-inferior, los diámetros que le corresponden. La Tabla 23 contiene los resultados finales.

Tabla 24. Resultados finales para la brida inferior.

CÁLCULO	DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
PERNOS	b_o	mm	18.75	Tamaño básico de asiento del empaque, ver Figura 2-5.2, ASME
	b	mm	2.165	Tamaño real de asentamiento del empaque

	W_{m1}	N	109280	Carga total de los pernos en condiciones de operación
	W_{m2}	N	42448	Carga total de los pernos en condiciones de carga inicial
	W	N	109280	Carga de diseño para los pernos. Es la mayor entre W_{m1} y W_{m2}
BRIDA	A_{m1}	mm^2	747.6	Área total de pernos requerida en condiciones de operación
	A_{m2}	mm^2	123.1	Área total de pernos requerida en condiciones de carga inicial
	A_m	mm^2	747.6	Área total mínima de pernos
	M_o	N-m	6338	Momento total sobre la brida
	Y	Adim	6.963	Factor de forma para K. Ver Figura 2-7.1. APP 2.
	K	Adim	1.33	Factor de forma
	t	mm	26	Espesor de la brida superior

Fuente: autores del proyecto.

4.2.2.4 Selección de los pernos. Con los datos obtenidos, se debe realizar la selección apropiada de los pernos, que cumplan con el mínimo del área requerida y que posean la longitud necesaria para un funcionamiento adecuado.

Diámetro de los pernos

$N_p = \text{Número de pernos para la brida} = 8$

$A_m = 747.6 \text{ [mm}^2\text{]}$

$A_{mp} = \text{Área mínima para cada perno} = \frac{A_m}{N_p} = \frac{747.6}{8} = 93.45 \text{ [mm}^2\text{]}$

$\phi_{rmp} = \text{Diámetro raíz mínimo por perno} = \sqrt{4 * A_{mp} / \pi} = \sqrt{4 * 93.45 / \pi}$
 $= 10.91 \text{ [mm]} = 0.429 = 0.43 \text{ [in]}$

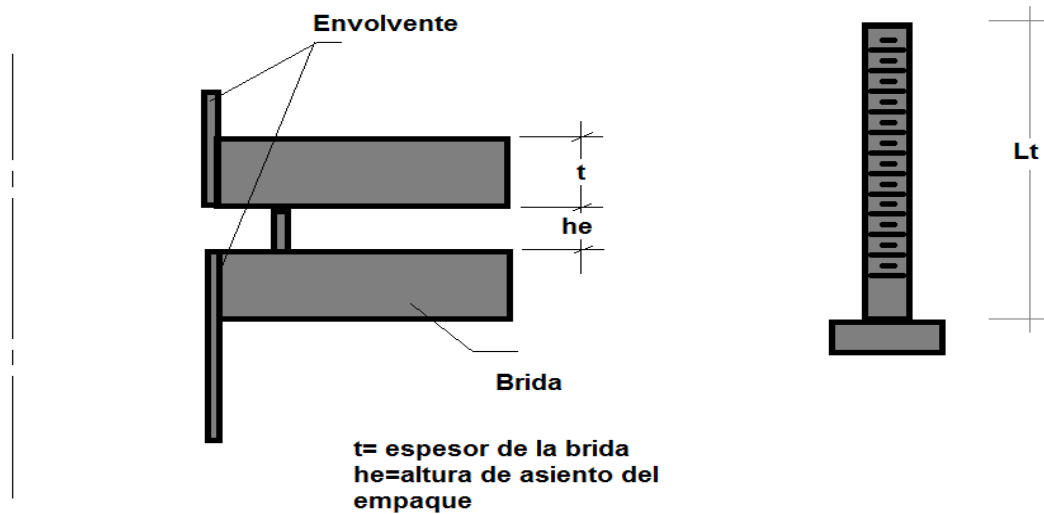
Debido a la similitud de los tamaños, la selección de los pernos será igual que para la brida superior.

La única validación que se efectuará será en la longitud del perno.

LONGITUD DE LOS PERNOS

La Figura 41 muestra las dimensiones determinadas hasta el momento. Con estas dimensiones, se determina una longitud segura para el perno, así:

Figura 41. Dimensiones básicas para la longitud del tornillo



Fuente: autores del proyecto.

$$L_t = h_e + 2.5 * t = 10 + 3.4 * 26 = 98.4 = 99 \text{ [mm]}$$

Como por conveniencia, tienen misma referencia con los pernos de la brida superior, se realiza la misma selección.

Selección por catálogo

Del catálogo general de DIMECO T.I., la Figura 42 muestra la selección del perno.

Figura 42. Selección por catálogo del perno

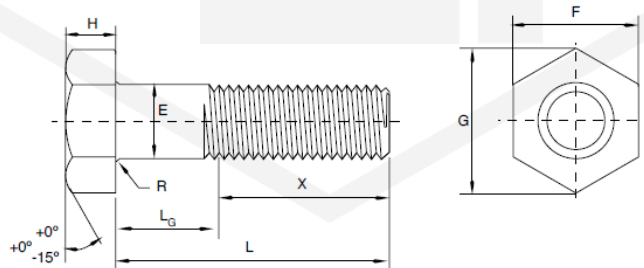


DIMECOT.I.

TORNILLOS HEXAGONALES / HEXAGONAL BOLTS

ANSI 18.2.1
SERIE NORMAL

nominal size	E	F		G		H		R		X			
										L≤6"	L>6"		
1/4	0,260	7/16	0,438	0,425	0,505	0,484	11/64	0,188	0,150	0,03	0,01	0,750	1,000
5/16	0,324	1/2	0,500	0,484	0,577	0,552	7/32	0,235	0,195	0,03	0,01	0,875	1,125
3/8	0,388	9/16	0,562	0,544	0,650	0,620	1/4	0,268	0,226	0,03	0,01	1,000	1,250
7/16	0,452	5/8	0,625	0,603	0,722	0,687	19/64	0,316	0,272	0,03	0,01	1,125	1,375
1/2	0,515	3/4	0,750	0,725	0,866	0,826	11/32	0,364	0,302	0,03	0,01	1,250	1,500
5/8	0,642	15/16	0,938	0,906	1,083	1,033	27/64	0,444	0,378	0,06	0,02	1,500	1,750
3/4	0,768	1-1/8	1,125	1,088	1,299	1,240	1/2	0,524	0,455	0,06	0,02	1,750	2,000
7/8	0,895	1-5/16	1,312	1,269	1,516	1,447	57/64	0,604	0,531	0,06	0,02	2,000	2,250



Fuente: autores del proyecto y catálogo DIMACO T.I.

L= 99 [mm]

X= 28.575 [mm]

E= 11.48 [mm]

Observación: debe tenerse presente que esta selección corresponde a la rosca estandarizada, pero el montaje completo es como se indica en los planos de construcción, para adaptarlo correctamente a la brida.

4.3 DISEÑO DE LAS TAPAS

El recipiente a presión, del cual la envolvente es el cuerpo principal, está sellado en los extremos por dos tapas, la superior y la inferior, las cuales logran el sello adecuado con la ayuda de las bridas y sus empaques, asunto de numerales anteriores.

Todo el recipiente a presión está cubierto por aislante térmico y una lámina delgada de acero inoxidable como cobertura externa o casco para las partes internas. Este numeral sólo cubre la norma para el diseño de las paredes del recipiente a presión. El ensamblaje de todos los componentes está detallado en los planos de construcción anexos.

4.3.1 Tapa Superior

La tapa inferior es un elemento importante para el recipiente, el cual:

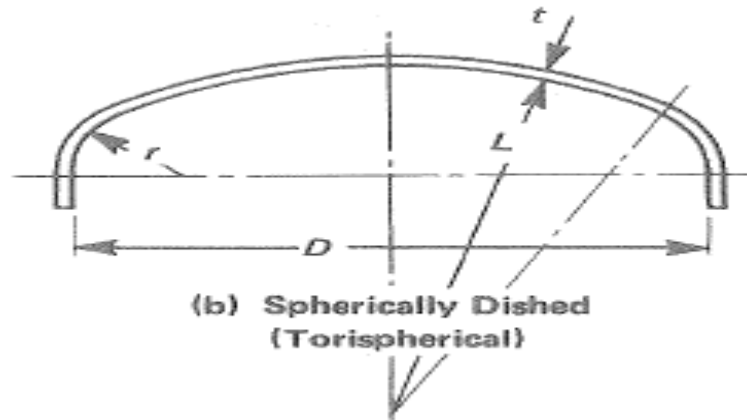
- Debe tener una geometría que permita un lavado completo y rápido
- Debe facilitar el trabajo del distribuidor circunferencial de presión.
- Hace el sello inferior del recipiente a presión en conjunto con la brida inferior y el empaque

En conjunto, todo el cabezal abre y cierra pivotado en un uno de los extremos de su brida. Se ha tenido especial cuidado con este movimiento, pues con el fin de garantizar el mejor sello posible, la geometría de bisagra debe asegurar que el sello sea aplastado homogéneamente por toda su circunferencia.

Es por este aspecto de espacio, por la necesidad de un espesor de lámina delgado para la tapa y por su manejo tradicional en la industria local, que se ha optado por el diseño de una tapa tipo Toriesférico.

La Figura 43 muestra el esquema de este tipo de tapa y sus dimensiones básicas.

Figura 43. Esquema de tapa tipo toriesférico o esféricamente apernado



Fuente: autores del proyecto y figura 1-4 ASME

Figura 44. Parámetros iniciales para el cálculo del espesor de la tapa toriesférica superior

DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
P	Psi (KPa)	62 (428)	Presión de diseño del recipiente
t	in (mm)	0.098 (2.5)	Espesor de la tapa para que coincida con el espesor de la envolvente
S	Psi (Kpa)	15508 (106924)	Esfuerzo a tensión máximo del material
E	adim	1	Sin costuras

Fuente: autores del proyecto.

$$M = \frac{1}{4} * \left(3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right)$$

$$t = \frac{P * L * M}{2 * S * E - 0.2 * P}$$

Estas dos ecuaciones permiten la manipulación de los factores L y r de acuerdo a las necesidades geométricas que, para este caso son importantes. De modo que, con la necesidad de tener la cara inferior lo más aplanada posible por cuestiones

de espacio y tamaño de la tapa, y determinando el espesor de la lámina del mismo tamaño de la envolvente, se tiene que se busca:

- L: tan grande posible
- r: tan pequeño como sea posible

Esto bajo la siguiente cota del numeral 1-4.d de la ASME:

$$\frac{t}{L} \geq 2 * 10^{-3}$$

Figura 45. Resultados del cálculo del espesor de la tapa toriesférica superior

DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
L	in (mm)	25.7 (652.78)	Radio interno de la corona
r	in (mm)	1.2 (30.48)	Radio interno del anillo
M	adim	1.907	Factor de proporcionalidad de la cabeza

Fuente: autores del proyecto.

Comprobando condiciones:

$$\frac{t}{L} = \frac{0.098}{25.7} = 3.813 * 10^{-3} \geq 2 * 10^{-3}$$

SE CUMPLE LA CONDICIÓN, LA GEOMETRÍA ES ACERTADA.

4.3.2 TAPA INFERIOR

La tapa inferior es un elemento fundamental;

- Debe tener una geometría que permita un lavado completo y rápido
- Soporta la máxima presión del equipo

- Hace el sello inferior del recipiente a presión en conjunto con la brida inferior y el empaque

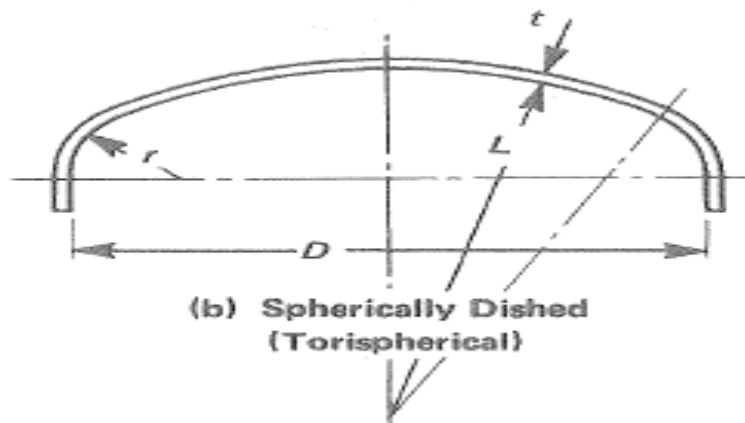
En conjunto, todo el cabezal se mueve –para abrir y cerrar-, paralelamente con el eje axial del equipo y queda totalmente separado de éste.

Al cabezal va unida la tubería flexible, pero por dentro del cabezal se dispone la tubería para el soporte del distribuidor de vapor. La tapa inferior debe contemplar estas geometrías y necesidades.

Es por este aspecto de espacio, por la necesidad de un espesor de lámina delgado para la tapa y por su manejo tradicional en la industria local, que se ha optado por el diseño de una tapa tipo Torisférico.

La Figura 46 muestra el esquema de este tipo de tapa y sus dimensiones básicas.

Figura 46. Esquema de tapa tipo toriesférico o esféricamente apernado



Fuente: autores del proyecto y figura 1-4 ASME

Figura 47. Parámetros iniciales para el cálculo del espesor de la tapa torisférica inferior

DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
P	Psi (KPa)	62 (428)	Presión de diseño del recipiente

t	in (mm)	0.098 (2.5)	Espesor de la tapa para que coincida con el espesor de la envolvente
S	Psi (KPa)	15508 (106924)	Esfuerzo a tensión máximo del material
E	adim	1	Sin costuras

Fuente: autores del proyecto.

Gracias a la similitud en el procedimiento de cálculo, sólo se presentan los resultados.

Figura 48. Resultados del cálculo del espesor de la tapa toriesférica inferior

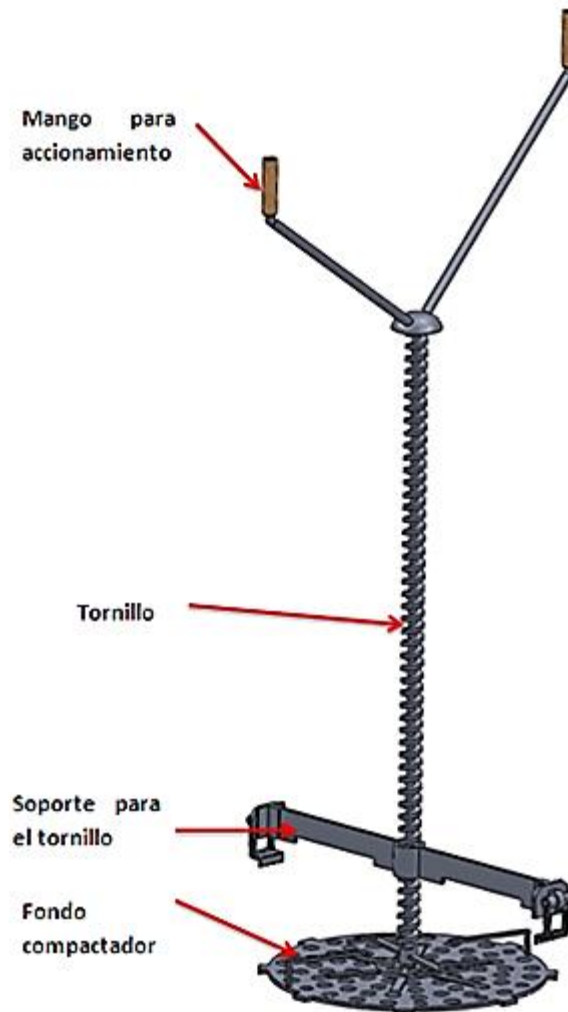
DATO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
L	in (mm)	25.7 (652.78)	Radio interno de la corona
r	in (mm)	1.2 (30.48)	Radio interno del anillo
M	adim	1.907	Factor de proporcionalidad de la cabeza

Fuente: autores del proyecto.

4.4 PRENSA

Para generar la densidad de empaado requerida, según cada caso expuesto en la teoría, se ha mencionado en la mayoría de las divisiones del presente proyecto el uso de una prensa manual para realizar la compactación del material; en esta sección, se expondrán las consideraciones geométricas y principales cálculos para las piezas que componen tal herramienta (ver Figura 49), además de comentar la razón de ser de cada una de estas; los planos y detalles de la herramienta serán expuestos en los anexos relacionados; igualmente, en el anexo **Manual de Operación** se mostrará de manera ilustrativa la manipulación práctica de este elemento.

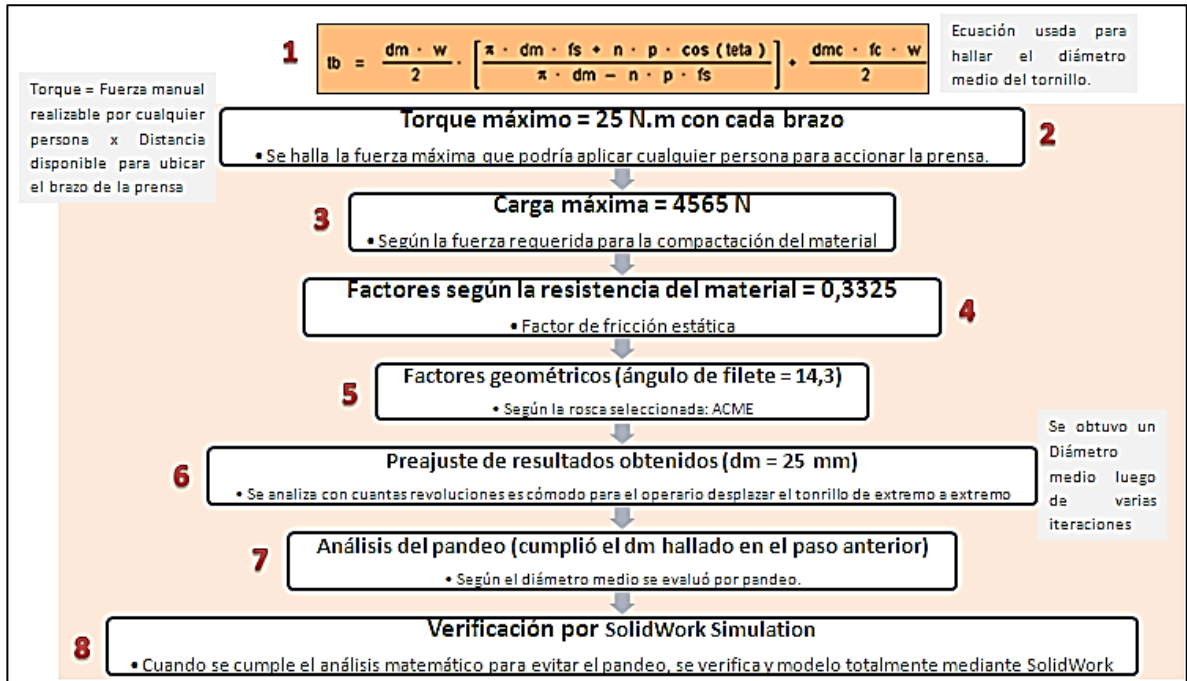
Figura 49. Prensa



Fuente: autores del proyecto.

4.8.1. Proceso de diseño para la prensa. En esta subsección mediante un esquema práctico se presentan los pasos del proceso de diseño (ver Figura 50) realizado para definir las dimensiones bases de la prensa.

Figura 50. Pasos del proceso de diseño para las dimensiones bases de la prensa



Fuente: autores del proyecto.

4.8.2. Tornillo. Mediante la teoría conocida para el cálculo de las dimensiones de cualquier tornillo de potencia, a continuación (ver Figura 51), mediante el apoyo del software Engineering Equation Solver –EES, se detallarán las dimensiones relacionadas con este elemento:

Figura 51. Imagen software EES programado para el cálculo del tornillo de potencia

CALCULO DIMENSIONES TORNILLO	
LONGITUD DEL TORNILLO=1m	
dr = 0,015	Diámetro de raíz
Ne = 0,5	Número de hilos por cm
fc = 0,3325	Factor de fricción estática collarín
fs = fc	Factor de fricción estática
w = 4565	Carga
teta = 14,3	Angulo de filete
n = 1	Número de entradas de la rosca
h:	altura del diente
do:	diámetro externo del tornillo
p:	paso
b:	base del diente
dm:	diámetro medio del diente
dmc:	diámetro medio del diente de la tuerca
alfa:	angulo de avance del tornillo
dr = do - 2 · h	
h = 0,5 · p	
$p = \frac{1}{Ne \cdot 100}$	
b = 1,26 · h	
dm = dmc	
dm = do - h	
$\tan(\alpha) = \frac{n \cdot p}{\pi \cdot dm}$	
$tb = \frac{dm \cdot w}{2} \cdot \left[\frac{\pi \cdot dm \cdot fs + n \cdot p \cdot \cos(teta)}{\pi \cdot dm - n \cdot p \cdot fs} \right] + \frac{dmc \cdot fc \cdot w}{2}$	

Fuente: autores del proyecto.

De acuerdo a la anterior figura (unidades en milímetros) a continuación en la Tabla 24 se consignan algunas dimensiones del tornillo diseñado especialmente para la prensa; posteriormente se presentan algunas justificaciones de su resultado:

Tabla 25. Algunas dimensiones del tornillo

DIMENSIONES REPRESENTATIVAS TORNILLO					
Ángulo de avance del tornillo	14,29°	Diámetro medio del diente	0,025 [m]	Diámetro externo del tornillo	0,035 [m].
Base del diente	0,0126 [m]	Diámetro medio del diente de la tuerca	0,025 [m]	Torque generado	55,08 [N.m]
Paso	2 [cm]		Altura del diente	0,01 [m]	

Fuente: Autores del proyecto.

El diámetro de raíz seleccionado, surge de un previo análisis realizado mediante las herramientas que facilita el software SolidWorks; en los anexos se podrá

visualizar en detalle cada uno de los estudios relacionados. Igualmente esta selección se validó mediante las siguientes ecuaciones de diseño:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_{yc}}}$$

Análisis diseño de columnas: Ecuación para el cálculo del cambio crítico (depende exclusivamente de las propiedades del material). Para este caso, en base a las propiedades del acero AISI 1020, se obtuvo un C_c de **140,496**.

$$\frac{\mu \cdot l}{r}$$

Con los datos relacionados para la prensa:

$$\mu=0,7; \quad l=1[\text{m}]; \quad r= (\text{radio raíz}/2),$$

se obtiene un C_c particular de **186,7** es decir que el tornillo se comporta como una **columna larga**, y por tanto, se tendrá una carga crítica igual a:

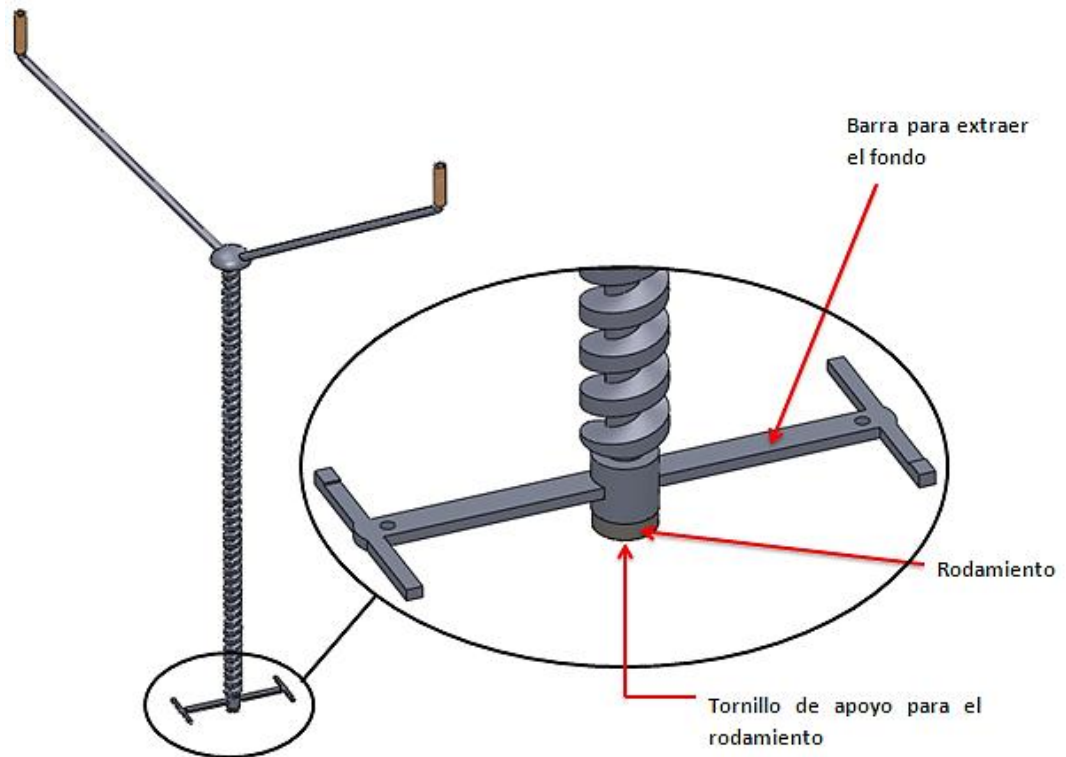
$$\frac{P_{crítica}}{A} = \frac{\pi^2 \cdot E}{((\mu \cdot l)/r)^2}$$

Conocida como la Hipérbola de Euler, por tanto se obtiene:

$P_{crítica} = 10261,067$ [N], muy superior a la carga necesaria para compactar la biomasa, es decir a la fuerza que se le estará aplicando al tornillo: $w = 4565$ [N], por tanto en el diseño, junto con el apoyo de los análisis ya mencionados, se da por validada la medida para el diámetro de raíz, y de similar manera se verifican el resto de dimensiones.

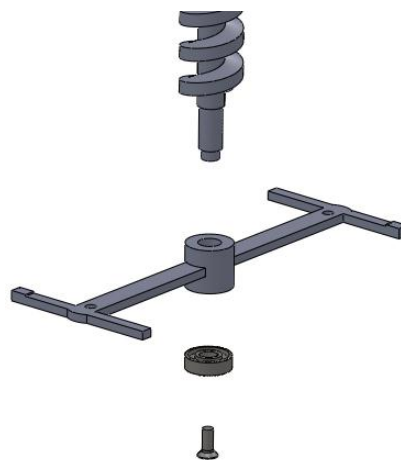
Ensamblados junto al tornillo se tienen los siguientes elementos: barra para extraer el fondo compactador, rodamiento de apoyo, y tornillo de apoyo para el rodamiento (ver Figura 52 y Figura 53.)

Figura 52. Elementos ensamblados al tornillo



Fuente: autores del proyecto.

Figura 53. Detalle elementos ensamblados al tornillo

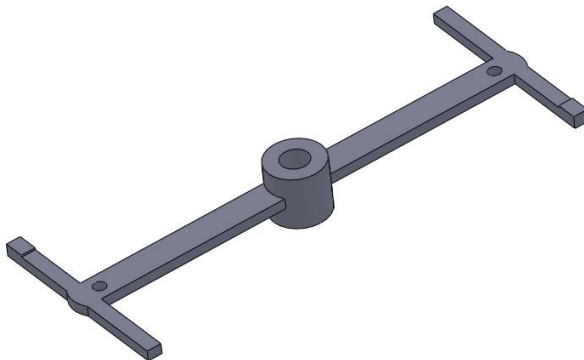


Fuente: autores del proyecto.

Las funciones de estos elementos son:

- ✓ **Barra para extraer el fondo compactador:** esta pieza gira libremente sobre el eje del tornillo, y permite, según descripción de funcionamiento dada en el Manual de operación adjunto, sostener el fondo compactador para extraerlo del interior del destilador cuando esto se requiera. Ver Figura 54 y el Anexo F respectivo.

Figura 54. Barra para extraer el fondo compactador

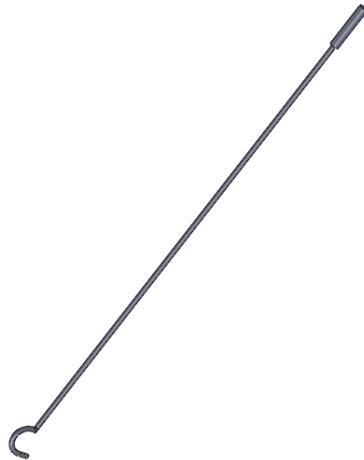


Fuente: autores del proyecto.

- ✓ **Rodamiento de apoyo:** Se ubica en el extremo del tornillo, y servirá para presionar el fondo compactador (este a su vez comprime el material), pero le permitirá al tornillo girar libremente, sin que el fondo gire. Ver anexo F.
- ✓ **Tornillo de apoyo para el rodamiento:** esta pequeña pieza ayudará al rodamiento a soportar el acople que gracias a este se logra (fondo compactador - barra de extracción). Ver anexo F.

Otro elemento que acompaña el conjunto es una delgada varilla que apoya manualmente el giro de la barra de extracción del fondo, o el giro del fondo compactador mismo. (Ver Figura 55).

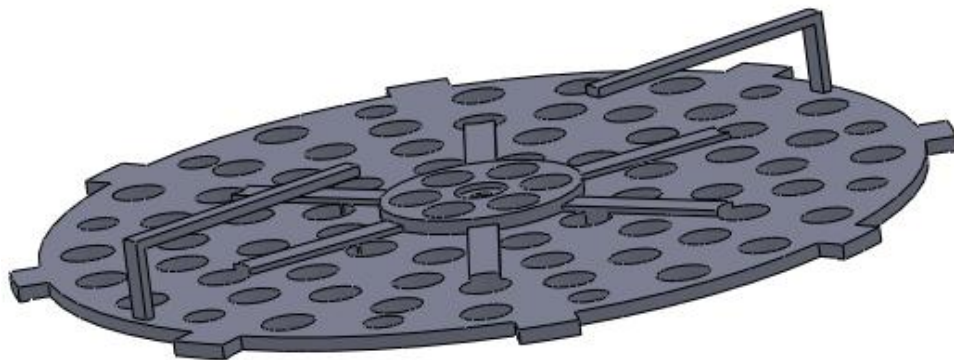
Figura 55. Varilla para girar la barra de extracción y/o el fondo compactador



Fuente: autores del proyecto.

4.8.2 Placa compactadora. Otro elemento que conforma el conjunto de la prensa, es el mostrado en la Figura 56. Como descripción general, dado que en el anexo relacionado se muestra su estudio, análisis y planos, se justifica su inclusión dentro del diseño, basado en la necesidad de contar con una pieza de material inerte, en contacto con la biomasa, que la mantenga compactada aun durante el tiempo en el cual el tornillo no esté actuando.

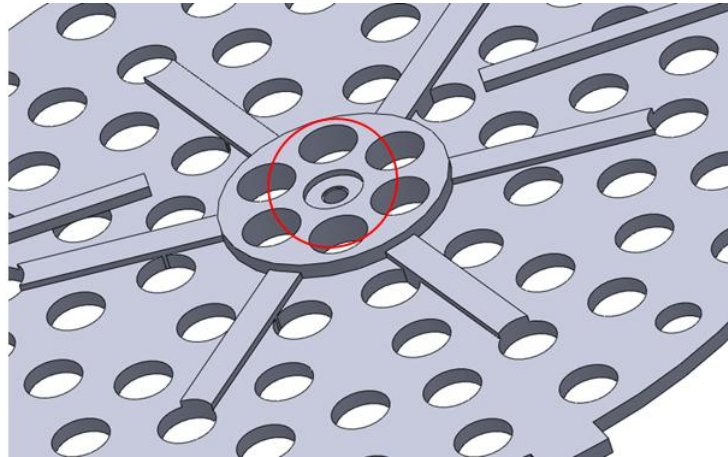
Figura 56. Fondo compactador



Fuente: autores del proyecto.

La extensión detallada en la Figura 57, sirve de apoyo para el conjunto: rodamiento, tornillo, y palanca de ajuste.

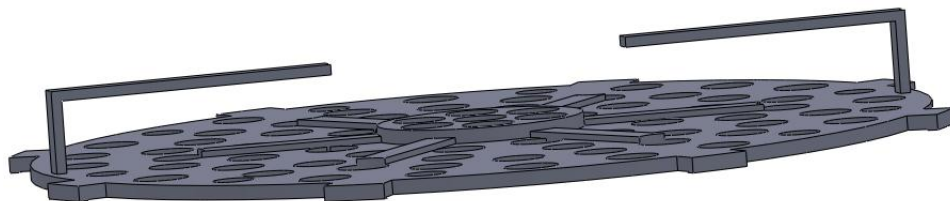
Figura 57. Extensión fondo compactador



Fuente: autores del proyecto.

Las dos barras que sobresalen en la Figura 58, son las piezas que están en contacto con la barra de extracción del fondo (Figura 53).

Figura 58. Detalle barras de apoyo a la extracción del fondo compactador

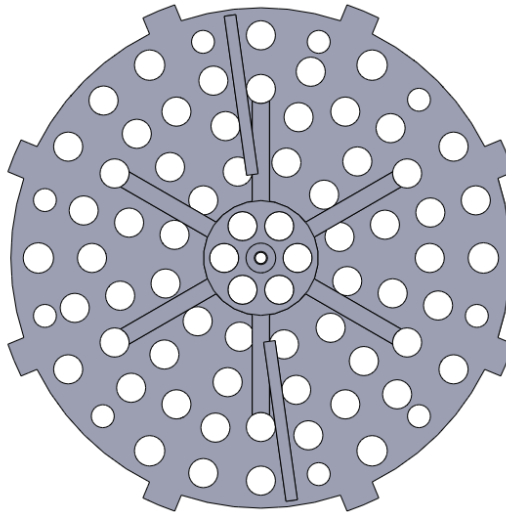


Fuente: autores del presente proyecto.

Las pestañas que sobresalen en un radio mayor al del fondo compactador (ver Figura 59) serán las que se ajusten contra las pestañas internas de la envolvente

(de iguales proporciones) para mantener el material compactado luego de retirar el tornillo principal.

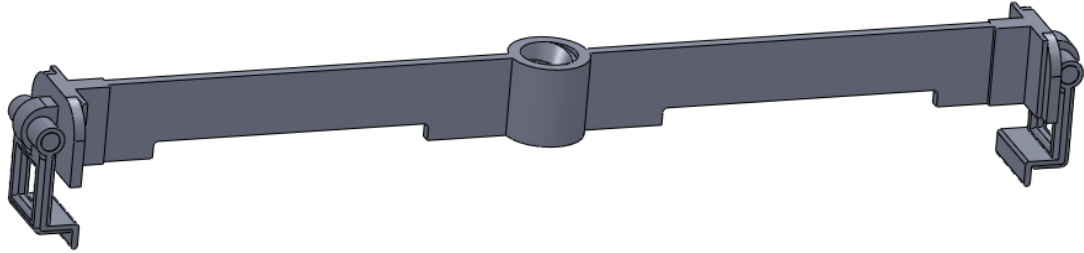
Figura 59. Detalle pestañas del fondo compactador



Fuente: autores del proyecto.

4.8.3 Tuerca o Soporte para el tornillo. En la prensa otra pieza fundamental es la tuerca (ver Figura 60) que ha sido diseñada para varias funciones, pues además de engranar con el tornillo, esta tiene una extensión, a lado y lado, que le permite apoyarse sobre la brida superior del cuerpo del destilador, para servirle de soporte al tornillo, permitiendo realizar la compactación; para terminar de ajustar tal soporte, se tiene a cada lado de las extensiones unas manijas que agarrarán el borde de la brida, dando finalmente el ajuste requerido para accionar con seguridad la prensa.

Figura 60. Tuerca



Fuente: autores del proyecto.

Los cálculos relacionados con las dimensiones básicas de la rosca de la tuerca, se muestran mediante una imagen del software EES (ver Figura 61) programado para tal cálculo. Y mediante análisis anexados, se verifican las dimensiones asignadas para este diseño.

Figura 61. Imagen software EES programado para el cálculo de altura de la tuerca

Primer cálculo según el Sdc	Segundo cálculo según el Sdt	Tercer cálculo según el Sds
$w = 4565$	$h_{\text{tuerca}} = \frac{3 \cdot w \cdot h \cdot p}{\pi \cdot d_o \cdot b^2 \cdot sdt}$	$h_{\text{tuerca}} = \frac{3 \cdot w \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot d_o \cdot b \cdot sds}$
$dm = 0,025$	$w=4565$	$w=4565$
$h = 0,01$	$h=0,01$	$p=0,02$
$p = 0,02$	$p=0,02$	$d_o=0,015$
$syc = 2,05 \times 10^8$	$d_o = 0,03$	$b=0,0126$
$nfactor = 4$	$b = 0,0126$	$sds=103005000$
$sdc = \frac{syc}{nfactor}$	$sdt = 1,03005 \times 10^8$	Como la altura mínima requerida para la tuerca es, según las ecuaciones anteriores, aproximadamente 3 milímetros, se usará una altura de tuerca equivalente a 2.5 veces el paso del tornillo
$n_a = \frac{h_{\text{tuerca}}}{p}$		
$h_{\text{tuerca}} = \frac{w \cdot p}{\pi \cdot dm \cdot h \cdot sdc}$		

Fuente: autores del proyecto.

Como ya se ha mencionado, para el mejor entendimiento del uso de todo el conjunto de la prensa, se recomienda nuevamente referirse al anexo relacionado con Manual de Operación; las dimensiones restantes, para todo el conjunto de la prensa, igualmente se presentan en el Anexo F.

5. CONCLUSIONES

- Con la realización del presente trabajo se logró diseñar un destilador de aceites esenciales por arrastre por vapor que cumple con las normas internacionales para su fabricación.
- El presente diseño logró satisfactoriamente los objetivos planteados en la formulación del problema:
 - Maniobrabilidad
 - Sencillez
 - Eliminación de grandes estructuras metálicas de apoyo para el proceso de la extracción y el manejo del material caliente
 - Instrumentación adecuada para manejo manual, en tiempo real y preciso del vapor de agua
- Se logró dar manejo de los factores incidentes en el proceso de destilación de forma manual y sin asistencia eléctrica o electrónica
- Este prototipo logra sentar las bases para el desarrollo de procesos de investigación exhaustivos en la técnica de arrastre por vapor, con flexibilidad para el manejo de los factores más relevantes en la técnica, con todas las sugerencias y parámetros, para estos procesos, desarrollados de forma clara y precisa.
- Las mejoras en la maniobrabilidad del equipo, lograron el avance en la manipulación de principios de diseño mecánico de recipientes a presión, como el distribuidor circunferencial de presión y los sellos trapezoidales dobles.
- El desarrollo tecnológico objetivo de este proyecto se ciñó a las limitantes propias del mercado:

- El bajo grado de capacitación de los operarios de esta maquinaria, que no facilita la implementación de tecnologías avanzadas.
- Se logró la maniobrabilidad antes mencionada, sin la necesidad de asistencia para la operación y el mantenimiento, condición importante para el uso de los equipos derivados del presente prototipo en zonas alejadas

6. OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS

El presente destilador, como prototipo para la experimentación en la mejora de la maniobrabilidad y profundización de la técnica arrastre por vapor y su eficiencia, debe ser objeto de los siguientes ajustes con el fin de alcanzar su punto de mayor eficiencia, tanto para las condiciones de laboratorio como para las condiciones reales en los centro de acopio, de acuerdo a su desarrollo teórico.

- Determinar los límites para la densidad de empacado reales para las condiciones cada especie especies. El equipo está diseñado para alcanzar una densidad de aproximadamente 350 Kg/m^3 , límite encontrado por Tim Denny en sus experimentos, con especies distintas a las de interés, y es posible que las condiciones sean más favorables logrando destilar más plantas por carga, o viceversa.
- Determinar los porcentajes de EVE límite “e”, para las distintas especies, de acuerdo a:
 - Costos propios de la región en donde se utilice, pues los límites entregados son los costos de experimentación de Tim Denny
 - Distintas combinaciones para cada material, por ejemplo: la hoja raspada de Swinglea entrega límites distintos a la swinglea picada con tallos promedio.
- Corregir los resultados en los tiempos de calentamiento, pues el cálculo de la masa de acero a calentar es aproximado. La diferencia puede ser de tan sólo un par de minutos o menos, pero el fin de ajuste lo justifica.
- Ajuste de flujos de vapor requeridos y de temperatura de operación reales en función de la presión de operación para cada combinación de especie y densidad de empacado. Estos valores reales deben remplazar las gráficas

entregadas en los manuales de funcionamiento. Se estima que pueden haber diferencias considerables, debido a que los cálculos se realizaron con base en las presiones de operación más altas esperadas, las cuales difícilmente podrán ser alcanzadas en la práctica, pero que se requieren por brindar factor de seguridad y diseño flexible suficientes. Los flujos de vapor para las plantas “ligeramente absorbentes” son los más sensibles a estos cambios.

- Ajustar “s” y “t” propias para cada especie. Los cálculos fueron realizados con promedios y aproximaciones propias de plantas de otras regiones. Ajustar las gráficas de funcionamiento con los nuevos datos.
- Observar la influencia práctica de los pre-tratamientos mencionados en la teoría de la destilación, para determinar su conveniencia. Post-cosecha: pre-humidificación, picado, secado y demás.
- Determinar el “EVE” real para las especies ligeramente absorbentes, o se pueden tomar los datos reales ya obtenidos en el CENIVAM. Tener en cuenta que, de acuerdo a la eficiencia de cada destilador, estas cantidades de aceite pueden variar, no en valores realmente considerables, pero puede ser necesario para los fines teóricos del desarrollo de la eficiencia en la destilación de arrastre por vapor, uno de los fines del presente proyecto. Se recomienda prestar atención a los términos, porcentajes de EVE límite “e”, es distinto a “EVE”.
- Hacer las gráficas del “*Manual de Funcionamiento*”, para cada una de las especies, pues las tablas que se entregan sólo tienen valores promedio.

BIBLIOGRAFÍA

BANDONI, Arnaldo. Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica: su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. Argentina: Universidad Nacional de La Plata. 2000. P. 13-58, 103-242.

DENNY, Tim. Field distillation for herbaceous oils. Australia: McKenzie. 2001.

LOPEZ, Edinson y CARVAJAL, José Manuel. Diseño y construcción de una planta para la extracción de aceites esenciales con capacidad para 300 Kg de material vegetal. Trabajo de grado ingenieros mecánicos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2009. P. 3, 16.

GROS, E. G., POMILLO, A. B., Seldes, A. M., y BURTON G. Introducción a estudio de los productos naturales. Buenos Aires: O.E.A, 1985. P. 3-12.

IKAN, Raphael. Natural products. San Diego: Academic Press, 1991. P. 168-185.

KAUFMAN, P. B., Cseke, L. J., Warber, S, DUKE, J. A. and BRIELMAN, H. L. Natural products from plants. Boca Raton: CRC Press, 1999. P. 9-18.

MEDINA SARMIENTO, José Domingo. Obtención por diferentes técnicas de extracción de los metabolitos secundarios volátiles de la swinglea glutinosa y su análisis por cromatografía de gases. Trabajo de grado químico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad Ciencias. Escuela de Química. 2004. P. 12-21.

MUÑOZ, F. Plantas medicinales y aromáticas: estudio, cultivo y procesado. Madrid: Mundi-prensa, 1987. 365 p.

RUIZ NOVA, Carlos Alberto. Estudio de los metabolitos secundarios volátiles de *lippia origanoides* h.b.k., en tres estados fenológicos. Trabajo de grado químico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. 2008. P. 38, 46.

TOIZ, L. and ZEIGER, E. Plant Physiology. Sunderland: Sinaver Associates, 2002. P. 283-307.

ANEXOS

Anexo A. SELECCIÓN E INSTALACIÓN DEL CONTROL MANUAL DE VAPOR: ROTÁMETRO-VÁLVULA

El control manual del flujo de vapor, bastante mencionado como una de las mejoras implantadas en este proyecto, tiene por función brindar un control manual preciso y oportuno de ésta variable, de modo que se pueda desarrollar todo el proceso teórico expuesto. Este elemento le da al destilador, la flexibilidad de brindar al sistema, el flujo de vapor adecuado para la destilación siempre más eficiente posible dentro de la maniobrabilidad lograda sin la necesidad de energía eléctrica y sin el uso de ningún sistema digital ni análogo complejo para su uso en campo o por operarios con niveles de capacitación bajos.

Esto se logra por medio de conjunto: ROTÁMETRO-VÁLVULA. El primero, permite visualizar el flujo de vapor en tiempo real con una precisión de un $\pm 4\%$ del valor de la escala del instrumento, y el segundo es un accesorio diseñado especialmente para la regulación de vapor; de fácil manejo y una larga vida útil. Por último, este conjunto ha sido especialmente escogido para este diseño; especialmente porque se logró conseguir diseñados especialmente como conjunto funcional para esta aplicación.

SELECCIÓN:

La empresa INSTRUMATIC S.A., tiene un catálogo con una cantidad considerable de tipos de rotámetros. Los hay de plástico, metal, vidrio, acero y combinaciones. La figura 1 muestra la imagen de la selección realizada para este proyecto.

Figura 1. Rotámetro seleccionado

7430 Series

Both 65 mm and 150 mm scales, borosilicate glass tube models feature all stainless steel frame and horizontal connections at a less expensive price than competitive products. Valve optional.

Description

Metering Tube
Borosilicate Glass

Internal Components
316L Stainless Steel, Black Glass,
Sapphire, Carboloy, Tantalum

Inlet/Outlet Fittings
1/4 " FNPT, Horizontal
Control Valve optional

Fitting Material
316L Stainless Steel

Elastomers
Standard: Viton
Optional: Buna N, EPR, and
Kalrez®

Options

Alarm
Fiber-Optic or Inductive Ring
Sensor (See Below)

Certified Calibrations
Conform to ISA RP 16.6

Scales

Can be ordered in metric or imperial



Glass Tube

Performance

Capacities
.72 to 1800 cc/mn – Water
66 to 70000 cc/mn – Air

Scale
65 mm, 150 mm
Direct reading, detachable

Accuracy
± 6% of Full Scale Flow, 65 mm
± 4% of Full Scale Flow, 150 mm

Turndown
10:1 to 12.5:1 unless otherwise
indicated

Repeatability
1%

Max Temperature
250° F (121° C) Gases
200° F (93° C) Liquids

Max Pressure
316L SS Fittings - 200 psig
PVC Fittings – 130 psig
PVDF Fittings – 150 psig

Ambient Temperature
33° F to 125° F (1° C to 52° C)

Fuente: catálogo virtual INSTRUMATIC, autores del proyecto.

• DESCRIPCIÓN DE LA SELECCIÓN (DENTRO DE LAS OPCIONES OFERTADAS).

- Tubo de medición: vidrio de borosilicato
- Adaptaciones (terminales) entrada/salida: Rosca ¼" FNPT, con válvula horizontal de control
- Material de las adaptaciones (terminales): acero inoxidable 316L

- Capacidad: las capacidades se varía para vapor de agua saturado. El proveedor dice garantizar hasta los 30000 [cc/min]
- T_{máx}: 121[°C]. Sin embargo, el fabricante asegura se capaz hasta los 150 [°C] de forma ocasional.
- Presión máxima: 200 [psig] con terminales de acero. La presión de diseño del destilador de es 62 [psig]

Si bien la válvula no aparece en el catálogo, ni se tiene una imagen directa de la fuente, se sabe que es de acero 316L de bola, con rosca ¼" NPT, para seguir el estándar del rotámetro.

Anexo B. SIMULACIONES DE FLUJO PARA DIMENSIONAMIENTO DEL DISTRIBUIDOR CIRCUNFERENCIAL DE PRESIÓN

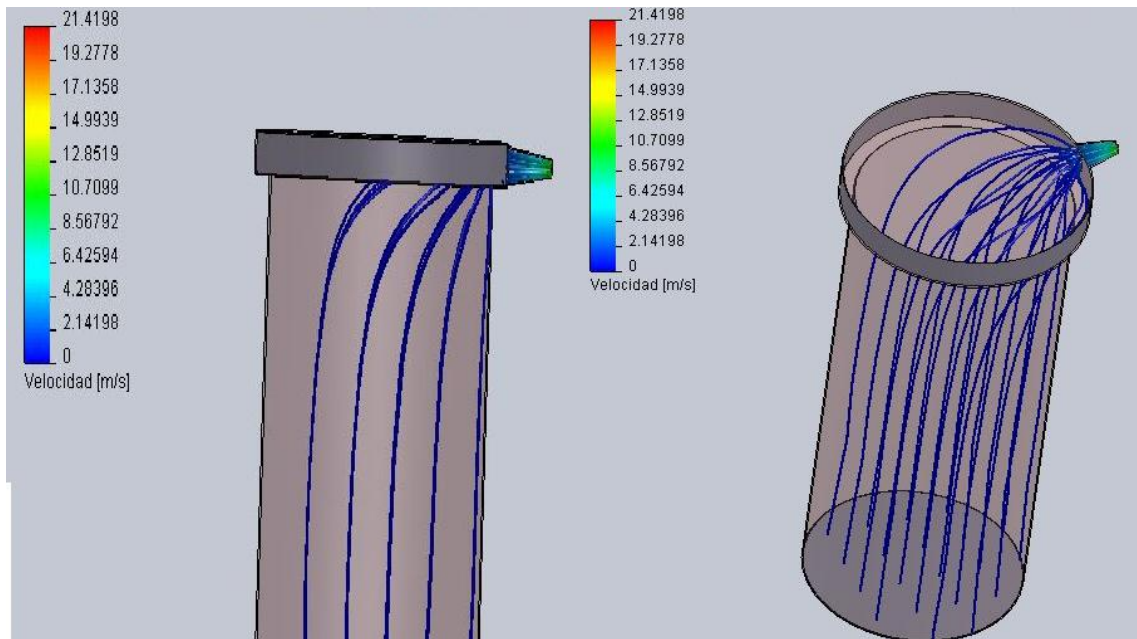
El dimensionamiento y la distribución de los elementos constitutivos del distribuidor circunferencial de presión, se basó en el análisis de flujo con base en el tradicional “cuello de ganso”.

Es válido especificar que todas las simulaciones fueron realizadas con las dimensiones finales del equipo y bajo las condiciones de operación esperadas:

- Presión: 30 [psi].
- Fluido: vapor de agua saturado.
- Flujo másico: 0.83787 Kg/min (en condiciones promedio de flujo).

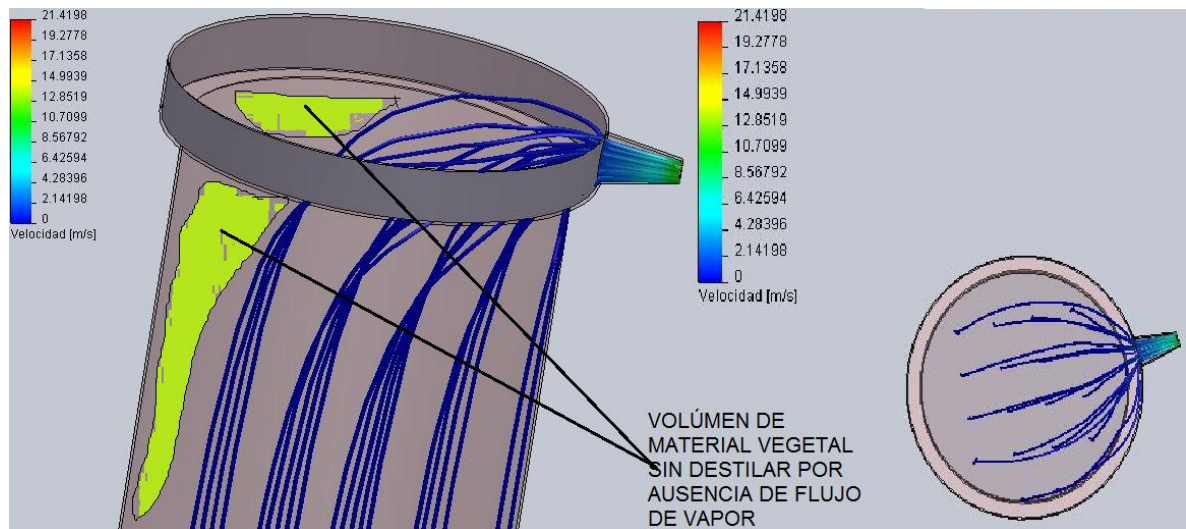
Las siguientes imágenes muestran la primera y la última de las simulaciones, entre las cuales se realizaron más de 15 variaciones consecutivas de dimensiones y disposiciones.

Figura 1. Instantáneas de la simulación del flujo de vapor con boquilla de salida lateral, sin distribuidor de vapor.



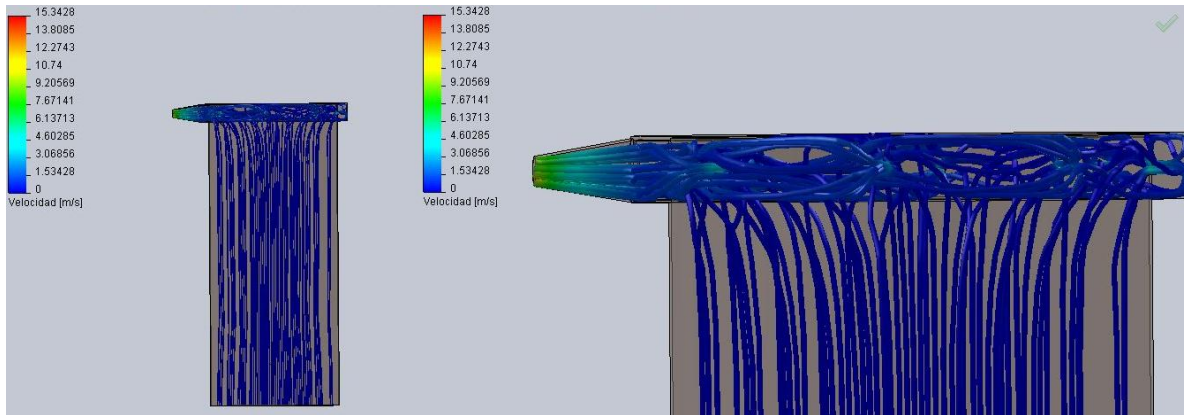
Fuente: autores del proyecto.

Figura 2. Detalles de la simulación de flujo sin distribuidor de vapor



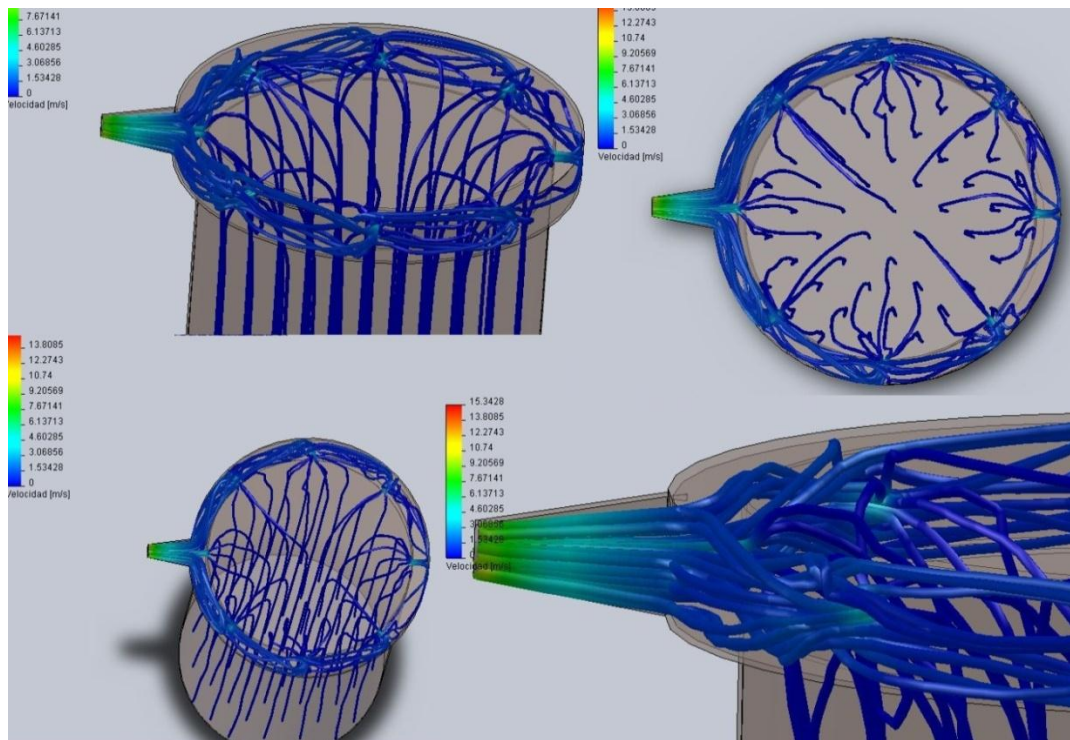
Fuente: autores del proyecto.

Figura 1. Instantáneas de la simulación del flujo de vapor con boquilla de salida lateral, con dimensiones finales del distribuidor de vapor.



Fuente: autores del proyecto.

Figura 4. Detalles de la simulación de flujo con distribuidor de vapor



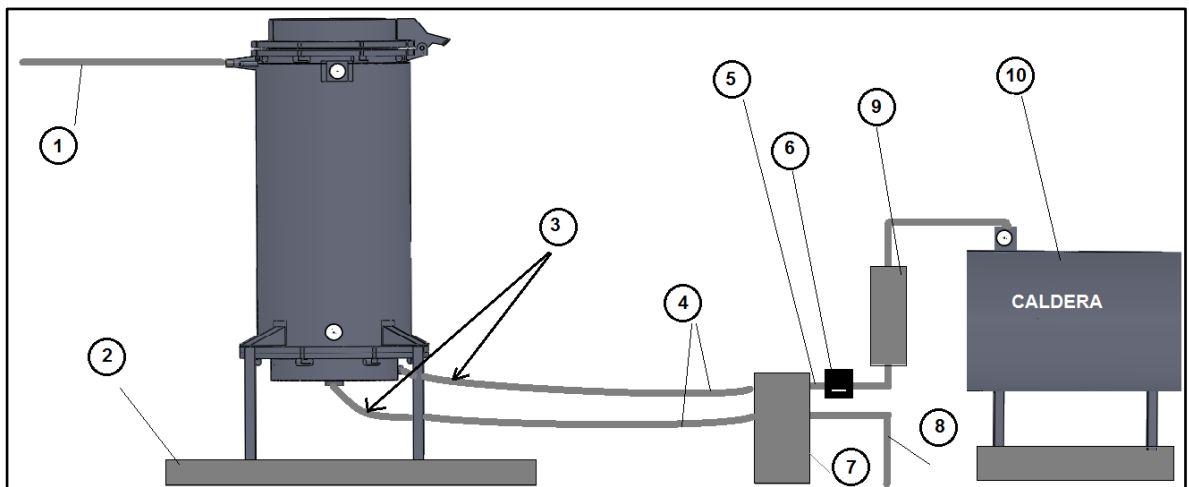
Fuente: autores del proyecto.

La Figura 4 muestra cómo la disposición de los huecos y sus tamaños, logran que el flujo de vapor sea exactamente el mismo a través del área transversal de éste, consiguiendo que cada uno de los orificios tenga 6 líneas representativas de flujo de vapor; esto significa que cada sección del área transversal tiene la misma densidad de flujo de vapor, es decir, flujo homogéneo, exactamente lo que se buscó a través del ejercicio de dimensionamiento y distribución.

Anexo C. CONSIDERACIONES MÍNIMAS DE INSTALACIÓN

A continuación se presentan algunas sugerencias respecto a la instalación del equipo. Se recomienda especial atención pues son condiciones mínimas, que pueden poner en riesgo la seguridad laboral del recinto de instalación y disminuir la vida útil de sus componentes.

Figura 1. Condiciones mínimas de instalación del destilador



Fuente: autores del proyecto.

Donde:

1. Tubería rígida que conduce la mezcla gaseosa de vapor de agua y aceites esenciales hasta el condensador
2. Base de cemento de al menos 2 centímetros de espesor, para fijar la base cuadrada del destilador, con 4 pernos de diámetro mínimo de 0.6 pulgadas
3. Radio mínimo de curvatura para las dos tuberías flexibles:
 - a. Curva estática: 30 milímetros
 - b. Flexibilidad intermitente: 203 milímetros

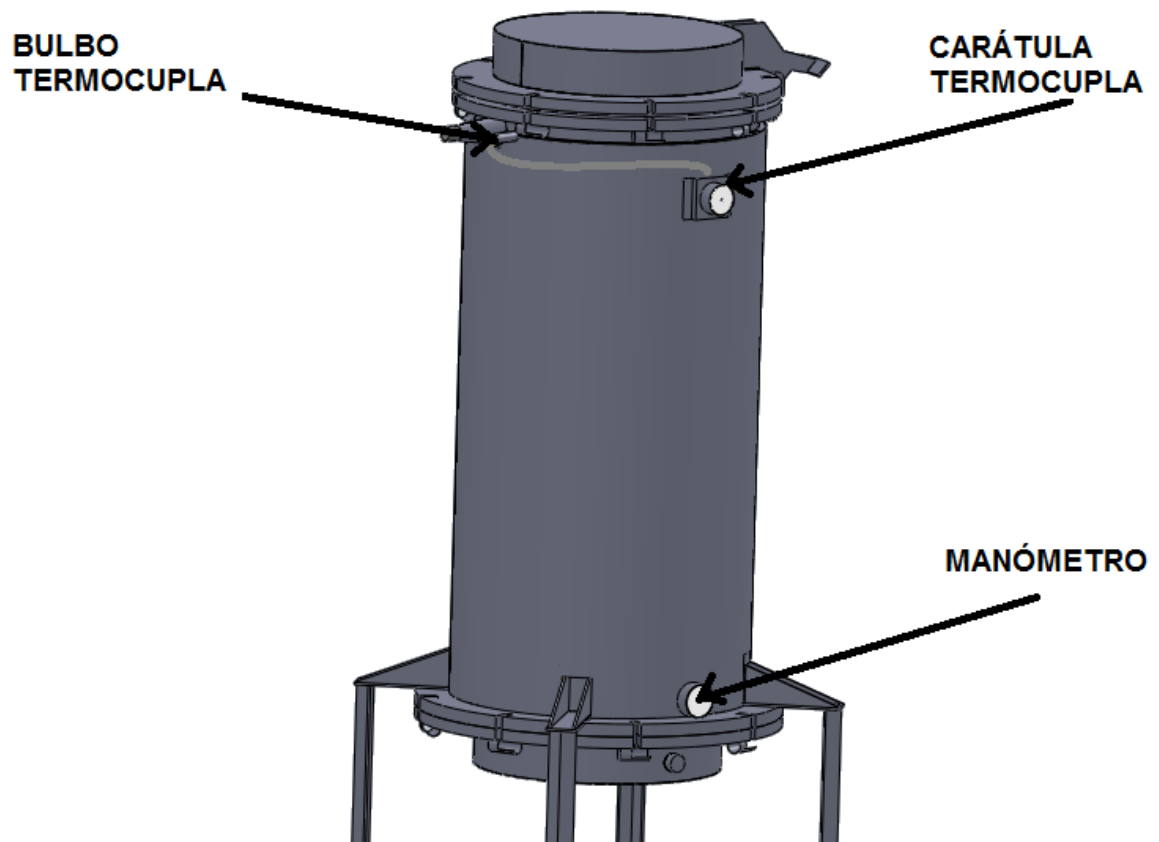
4. Tubos flexibles (de acuerdo a la selección realizada en el respectivo numeral)
5. Tubo rígido para el vapor de suministro desde la caldera
6. Válvula de paso de vapor, en posición horizontal
7. Rotámetro para medición del flujo de vapor, en posición vertical
8. Interfaz rígida para la conexión estable de las tuberías flexibles con las tuberías rígidas. Es muy importante su uso, pues las tuberías rígidas no pueden ser terminadas sin puntos rígidos. Puede ser una caja en ladrillo y cemento, con los accesorios de conexión rápida y/o segura, o una caja metálica fijada al piso o a una pared.
9. Rotámetro para medición del flujo de vapor, en posición vertical
10. Caldera

Anexo D. SELECCIÓN TERMÓMETRO Y MANÓMETRO

Los accesorios para la medición de la temperatura y la presión que usa este diseño, de común acuerdo entre el CENIVAM, el director del proyecto y los autores es como se ve en la Figura 1. Esta disposición está especialmente pensada para poder hacer el seguimiento de los factores más críticos durante el proceso, que son:

- Presión en la base de la carga del material vegetal: es el punto de mayor presión a la cual está expuesto el material.
- Temperatura en la boquilla de salida: en este punto se puede saber la eficiencia energética del equipo y las condiciones a las cuales el aceite está sometido momentos previos a la condensación.

Figura 1. Ubicación del termómetro y el manómetro



Fuente: autores del proyecto.

➤ SELECCIÓN MANÓMETRO

Del catálogo digital de DeWit, se escogió la opción más acertada para el equipo. La Figura 2, muestra las características generales de esta opción.

Figura 2. Imagen de catálogo con generalidades del manómetro seleccionado

Modelo 291V y 295V





✓ CARACTERÍSTICAS GENERALES

Exactitud:	+/- 2% del total de la escala
Elemento:	Tubo bourdon de Acero Inoxidable 316
Conexión:	Acero Inoxidable 316 1/4" N.P.T. Inf. o Posterior
Mecanismo:	Acero Inoxidable 304
Caja y Bisel:	Acero Inoxidable 304
Ventana:	Acrílico
Carátula:	Aluminio fondo blanco, números negros/rojos
Aguja:	Aluminio esmaltado negro
Tamaños:	o 63 mm (2 1/2")
Rangos:	Doble escala, kg/cm ² + psi max. 700 kg/cm ²

📍 APLICACIONES

Manómetro lleno de glicerina con caja de acero inoxidable diseñado para ser instalado en ambientes donde existan agentes corrosivos, gran cantidad de polvo, vibración excesiva o la presión de la línea tenga severa pulsación o golpes de ariete causados por cambios bruscos de presión, como bombas, prensas, plantas cementeras, etc.

📝 COMO ORDENAR

	Cantidad	Modelo	Tamaño (mm)	Rango	Conexión
Ejem.	30 pzas.	291V	63	70 kg/cm ²	inf. 1/4" N.P.T.

PRECAUCIÓN: No use manómetros llenos de glicerina en ninguna aplicación que incluya agentes altamente oxidantes, como cloro, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno, etc., porque esta combinación puede causar una

Fuente: catálogo digital DeWit, autores del proyecto.

Criterios y cálculos para la selección:

- Está diseñado para ambientes corrosivos similares al ambiente del destilador, con acero 304, el mismo acero con el cual está diseñado el equipo.
- Modelo: modelo de conexión horizontal, como se observa en la Figura 3.

- Rango de presión: el fabricante recomienda que la presión nunca supere el 65% del máximo valor de la escala del manómetro, para que pueda mantener la precisión en su medición. Por lo tanto:

$$P_{mm} * 0.65 = P_d$$

$$P_{mm} = \frac{62}{0.65} = 95.4 [psi]$$

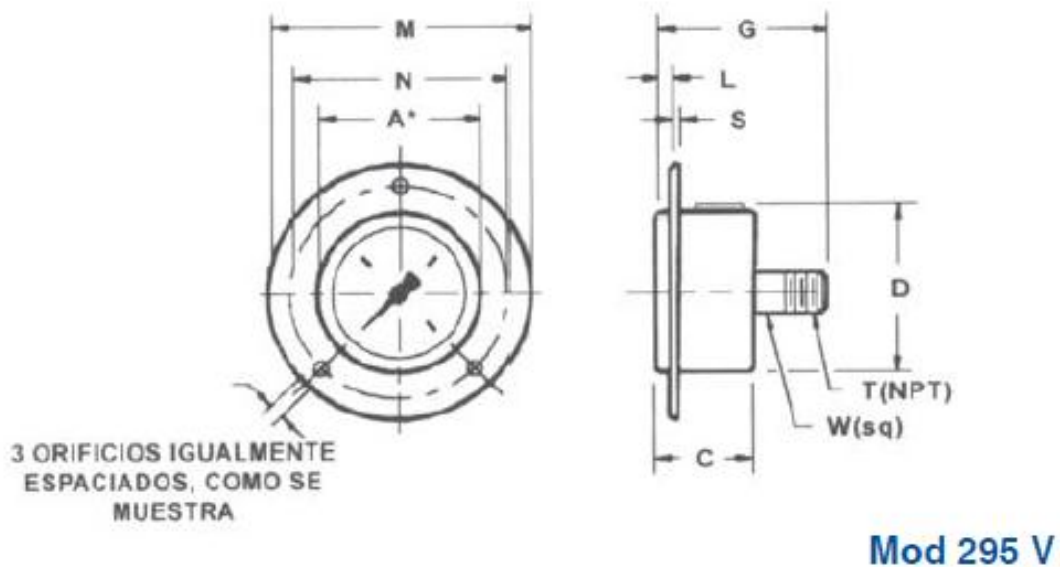
Donde:

P_{mm} = presión máxima medida por el manómetro

P_d = presión de diseño del equipo

De este modo, la selección del rango adecuado es de 100 [psi], como se muestra en la Figura 4.

Figura 3. Esquema del modelo de manómetro 295V, o de disposición horizontal



Fuente: catálogo DeWit, autores del proyecto

Figura 4. Selección de rango de presión del manómetro por catálogo

RANGOS ESTÁNDAR

PRESIÓN	
Kgf/cm ²	Psi
0 - 1	0 - 15
0 - 2	0 - 30
0 - 4	0 - 60
0 - 7	0 - 100
0 - 11	0 - 150
0 - 14	0 - 200
0 - 21	0 - 300
0 - 28	0 - 400
0 - 42	0 - 600
0 - 70	0 - 1000
0 - 105	0 - 1500
0 - 140	0 - 2000
0 - 210	0 - 3000
0 - 280	0 - 4000
0 - 350	0 - 5000
0 - 560	0 - 8000
0 - 700	0 - 10000
VACIO -76 CmHg-	

Fuente: catálogo DeWit, autores del proyecto.

➤ **SELECCIÓN TERMÓMETRO**

Se escogió la opción más adecuada del catálogo DeWit, mostrada en la Figura 5. En la figura se puede observar que cumple con los requisitos de rango de temperatura y condiciones corrosivas. Las conexiones están construidas con acero inoxidable AISI 316.

CONSIDERACIONES IMPORTANTES:

- La longitud del bulbo escogida para el equipo **debe** ser la mínima, 100 [mm].
- En caso de requerir usar otros modelos, las consideraciones son las siguientes:

- La longitud mínima del bulbo debe ser de 70 [mm]. Una longitud menor no podrá medir la temperatura adecuadamente, debido a la construcción interna del equipo.
- La longitud máxima podrá ser de 110 [mm]. Una longitud mayor interferirá con piezas internas y no podrá roscar adecuadamente.
- Las roscas deben coincidir: 1/2"NPT.

Figura 5. Imagen de las características generales del termómetro DeWit seleccionado.

DE WIT

Modelos 5400 al 5800 gas



✓ CARACTERÍSTICAS GENERALES

Exactitud:	+/- 1% del total de la escala.
Elemento:	Espiral de acero actuado por tensión de gas con compensador de temperatura ambiental.
Mecanismo:	Acero inoxidable AISI 304.
Caja y Bisel:	Acero inoxidable AISI 304.
Ventana:	Cristal inastillable.
Carátula:	Aluminio fondo blanco, números negros.
Aguja:	Aluminio esmaltado negro con micro ajuste.
Capilar:	De uno a 60 mts. (ver guía de selección)
Bulbos:	(Ver guía de selección)
Fluidos:	Glicerina (agregar "V" después del modelo)
Tamaños:	o 63 mm (2 1/2"), o 100 mm (4"), o 160 mm (6") y o 250 mm (10")
Rangos:	Gas. -200°C hasta +600°C

🔗 APLICACIONES

Termómetro con caja de acero inoxidable a prueba de intemperie seco o lleno de glicerina, diseñados para indicación remota de temperaturas que fluctúen entre -200°C hasta 600°C en gases o líquidos. Se fabrican actuados por un gas inerte no tóxico. Ideales para instalaciones en ambientes corrosivos o con severa vibración, como en plantas petroquímicas, uso marino o industria alimenticia.

Dimensiones en mm.

o d	9, 10, 12 mm
L	100 mm hasta 1000 mm
G	1/2", 3/4", 1" N.P.T. o B.S.P.

OPCIONES

- Otras escalas: °F o °F+°C
- Exactitud: +/- 0.6% del total de la escala
- Contactos eléctricos (ver páginas 36 y 37)
- Ajuste de cero interno

Fuente: catálogo DeWit, autores del proyecto.

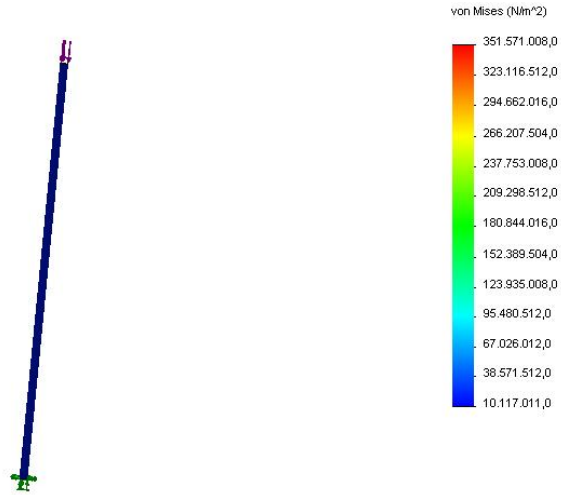
Anexo E. SIMULACIONES

A. TORNILLO

- PRIMERA SIMULACIÓN: Resistencia del material, análisis contra pandeo, manejando el dm seleccionado.

Ilustración 1. Estudio de tensiones - resistencia del material

Nombre de modelo: TORNILLO
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1.0117e+007 N/m ² Nodo: 3808	(-8.67362e-016 mm, 0 mm, -1.16415e-007 mm)	2.06807e+007 N/m ² Nodo: 1888	(-1.54926 mm, 9.03789 mm, 4.31043 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 153	(-8.66025 mm, 0 mm, 5 mm)	0.0984102 mm Nodo: 601	(8.66062 mm, 999.902 mm, -5.00031 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5.44546e-005 Elemento: 1982	(-3.51767 mm, 1.12486 mm, 0.217556 mm)	8.70719e-005 Elemento: 4174	(-0.562113 mm, 9.61404 mm, 0.305414 mm)

- SEGUNDA SIMULACION: Análisis para la aplicación del torque relacionado con la compactación del material y fuerza del operario sobre el material.

Ilustración 2. Estudio de tensiones – aplicación de torque de compactación

Nombre de modelo: TORNILLO
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

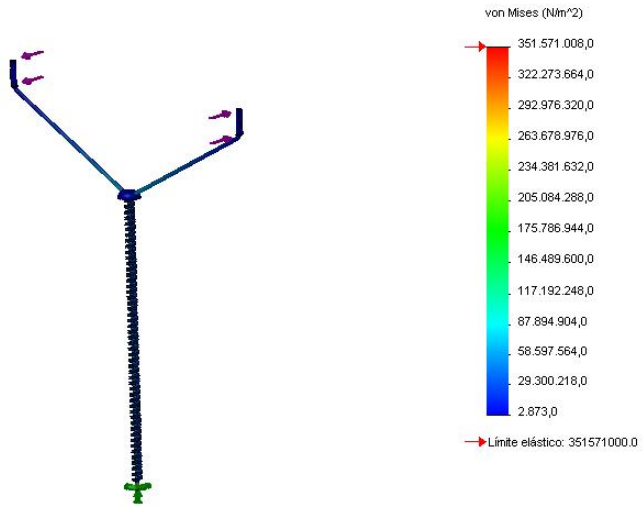


Ilustración 3. Estudio de desplazamiento – aplicación de torque de compactación

Nombre de modelo: TORNILLO
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

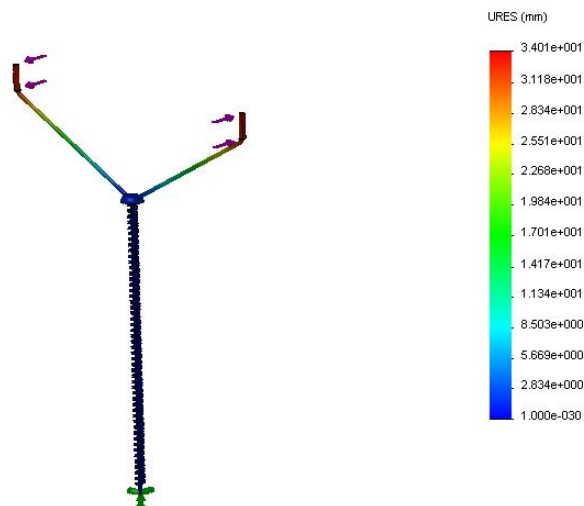
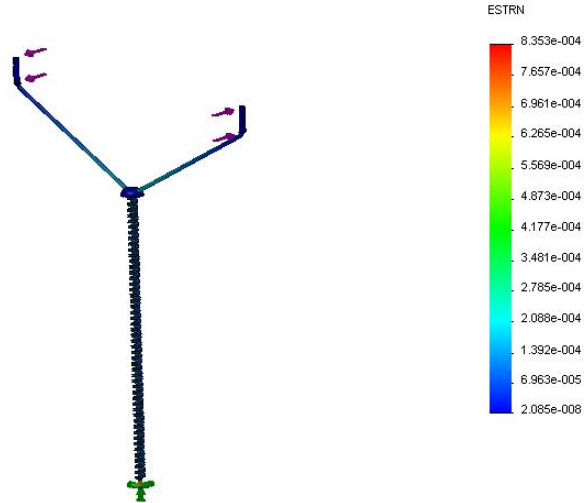


Ilustración 4. Estudio de deformaciones unitarias – aplicación de torque de compactación

Nombre de modelo: TORNILLO
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2873.05 N/m ² Nodo: 7654	(506.83 mm, 1418.15 mm, -39.2409 mm)	2.32867e+008 N/m ² Nodo: 8861	(4.59619 mm, 0 mm, 4.59619 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 3351	(-4.33013 mm, 0 mm, -2.5 mm)	34.0139 mm Nodo: 3656	(509.963 mm, 1418.12 mm, -42.1373 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.08534e-008 Elemento: 11257	(505.843 mm, 1416.74 mm, -40.1914 mm)	0.000835316 Elemento: 10605	(2.90821 mm, 1.57891 mm, -5.04152 mm)

B. FONDO PARA LA COMPACTACIÓN

- PRIMERA SIMULACIÓN: resistencia del material a la fuerza generada por la compactación, y posterior material compactado.

Ilustración 5. Estudio de tensiones sobre el fondo

Nombre de modelo: opcionagujeros
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

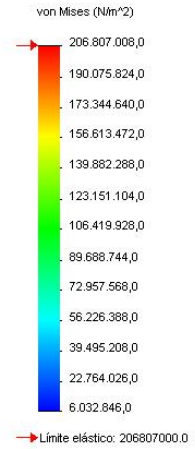
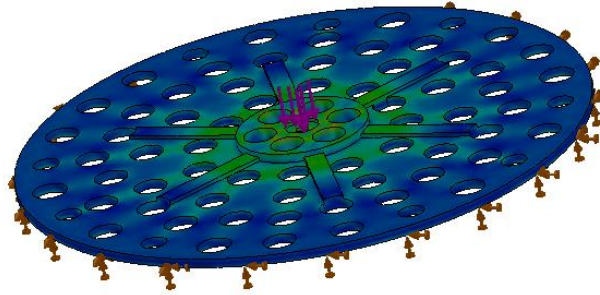


Ilustración 6. Estudio de desplazamiento

Nombre de modelo: opcionagujeros
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

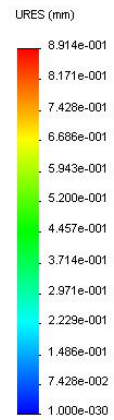
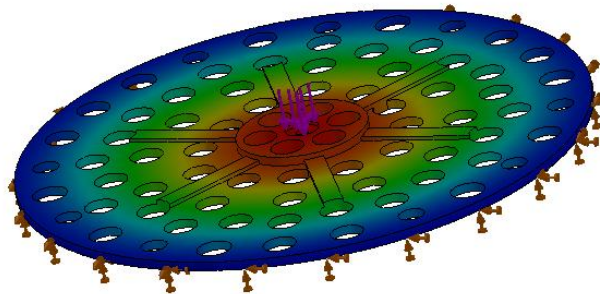
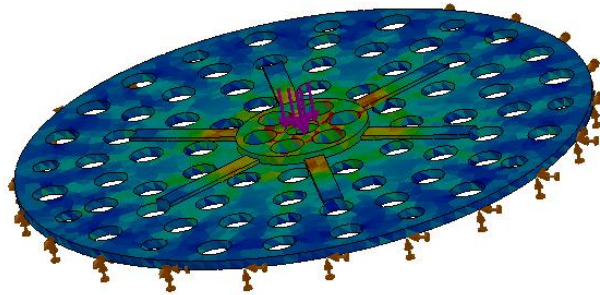
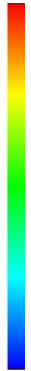


Ilustración 7. Estudio de deformaciones unitarias

Nombre de modelo: opcionagujeros
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



EST



Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2.70791e+006 N/m ² Nodo: 10830	(53.7242 mm, 2.69794 mm, 22.9133 mm)	1.57798e+008 N/m ² Nodo: 194	(-20.3322 mm, 13.129 mm, 15.7733 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1234	(-188.794 mm, 0 mm, 109 mm)	0.891401 mm Nodo: 11512	(-3.2136 mm, 4.6086 mm, 3.82977 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.00119e-005 Elemento: 3989	(-13.1828 mm, 2.68232 mm, 52.584 mm)	0.000524866 Elemento: 1529	(-9.73486 mm, 12.2777 mm, -14.3208 mm)

- SEGUNDA SIMULACIÓN: validación de las pestañas sobre la circunferencia externa.

Ilustración 8. Estudio de tensiones

Nombre de modelo: opcionagujeros
Nombre de estudio: Estudio 3
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

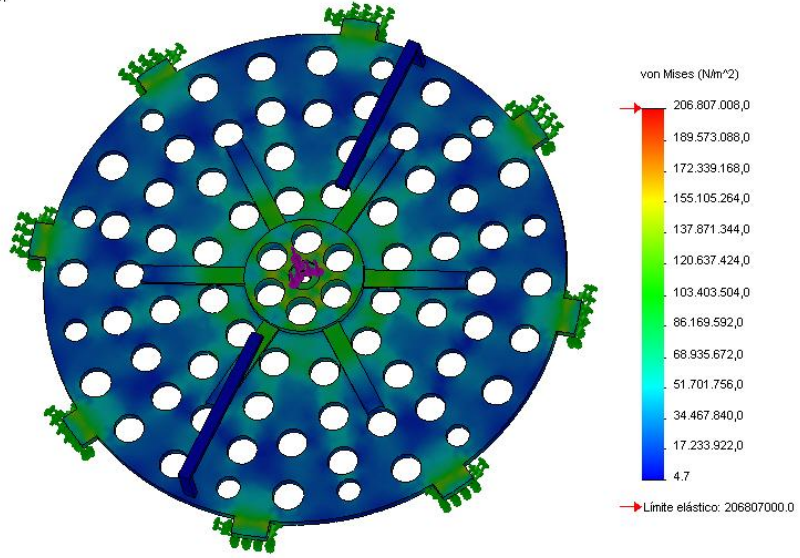


Ilustración 9. Estudio de desplazamiento

Nombre de modelo: opcionagujeros
Nombre de estudio: Estudio 3
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

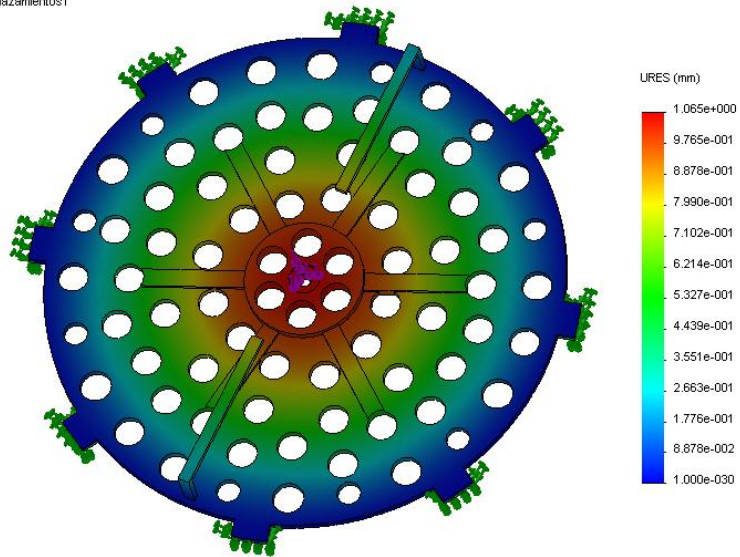
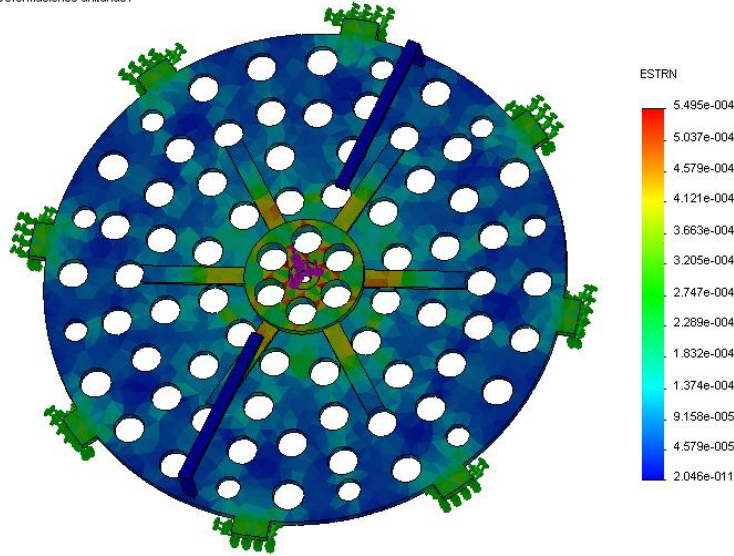


Ilustración 10. Estudio de deformaciones unitarias

Nombre de modelo: opcionagujeros
 Nombre de estudio: Estudio 3
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	4.33353 N/m ² Nodo: 3851	(10.3194 mm, 44.9929 mm, 74.6754 mm)	1.77989e+008 N/m ² Nodo: 11763	(-211.303 mm, -0.00739785 mm, 71.2871 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 2341	(215.928 mm, 0 mm, 73.2046 mm)	1.06531 mm Nodo: 12543	(-1.71017 mm, 3.93469 mm, 4.69863 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.04629e-011 Elemento: 5222	(9.98466 mm, 45.048 mm, 90.8974 mm)	0.000549469 Elemento: 8387	(-5.37967 mm, 9.44719 mm, 2.13566 mm)

- TERCERA SIMULACIÓN: análisis para la resistencia de las extensiones para extraer el fondo

Ilustración 11. Estudio de tensiones

Nombre de modelo: opcionagujeros
Nombre de estudio: Estudio 2
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

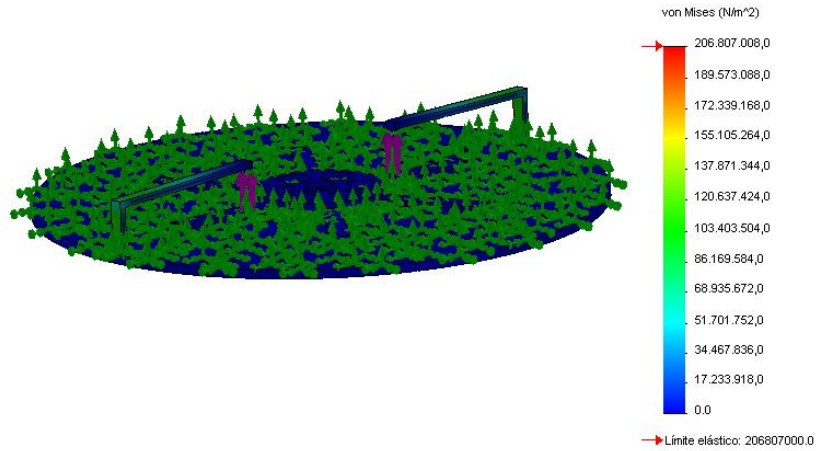


Ilustración 12. Estudio de desplazamiento

Nombre de modelo: opcionagujeros
Nombre de estudio: Estudio 2
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

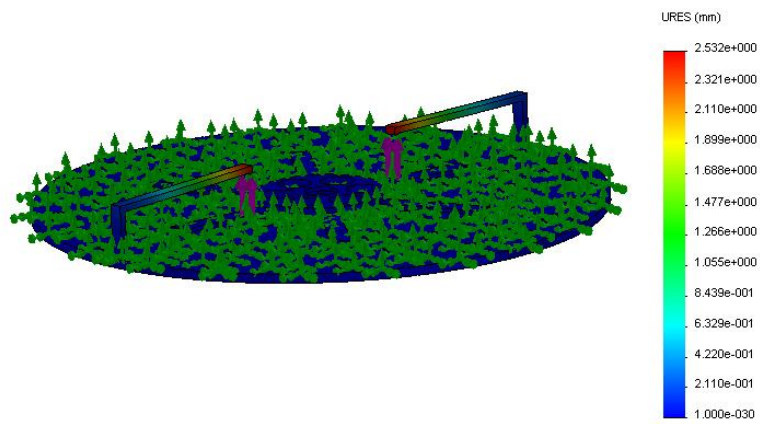
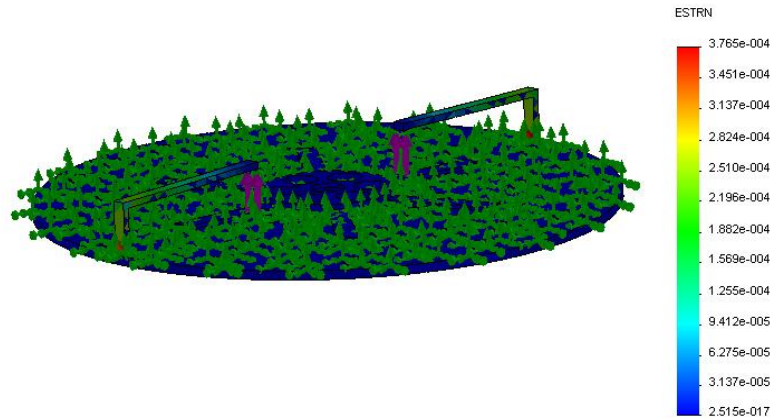


Ilustración 13. Estudio de deformaciones unitarias

Nombre de modelo: opcionagujeros
 Nombre de estudio: Estudio 2
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	4.37704e-006 N/m ² Nodo: 1785	(-201.317 mm, 7 mm, 34.9419 mm)	1.12934e+008 N/m ² Nodo: 3162	(-21.9627 mm, 36.983 mm, -212.091 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 5	(41.7945 mm, 7 mm, -193.3 mm)	2.53172 mm Nodo: 3191	(-12.3907 mm, 49.5223 mm, -72.1782 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.51536e-017 Elemento: 1273	(-198.968 mm, 6.1243 mm, 24.1308 mm)	0.000376496 Elemento: 8061	(25.0226 mm, 12.4294 mm, 207.098 mm)

C. TUERCA SOPORTE

- PRIMERA SIMULACION: análisis general

Ilustración 14. Estudio de tensiones

Nombre de modelo: TUERCA
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

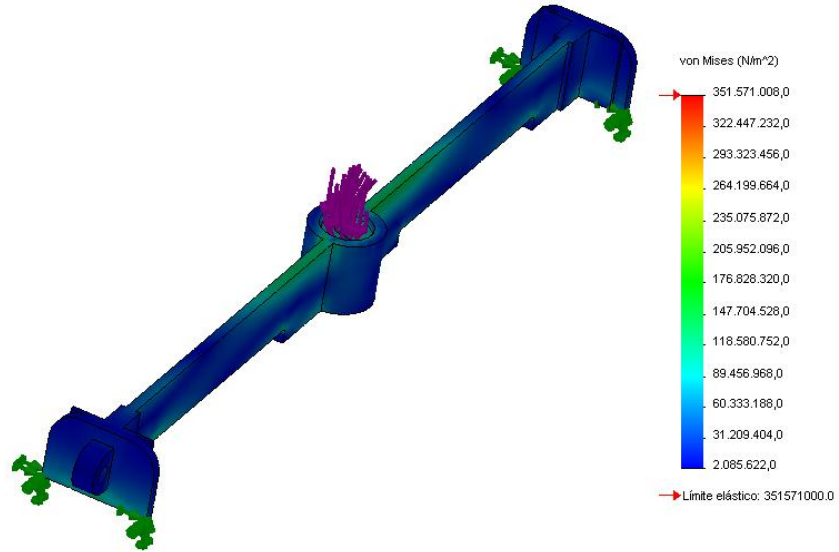


Ilustración 15. Estudio de desplazamientos

Nombre de modelo: TUERCA
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

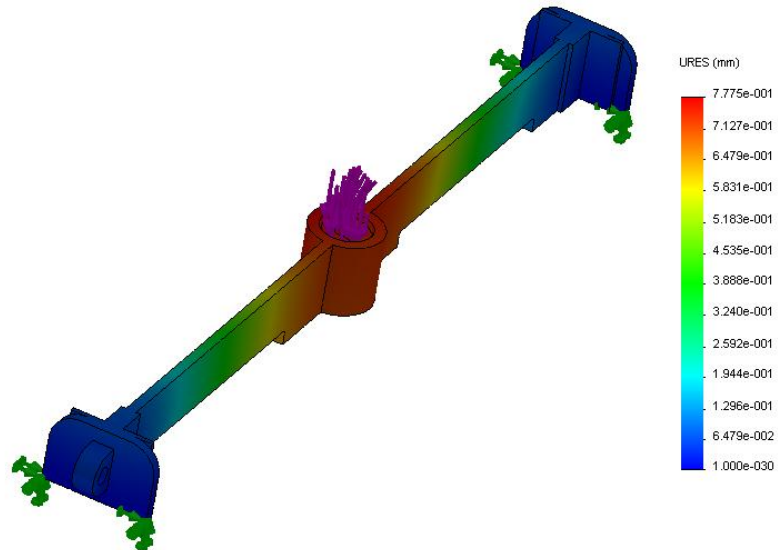
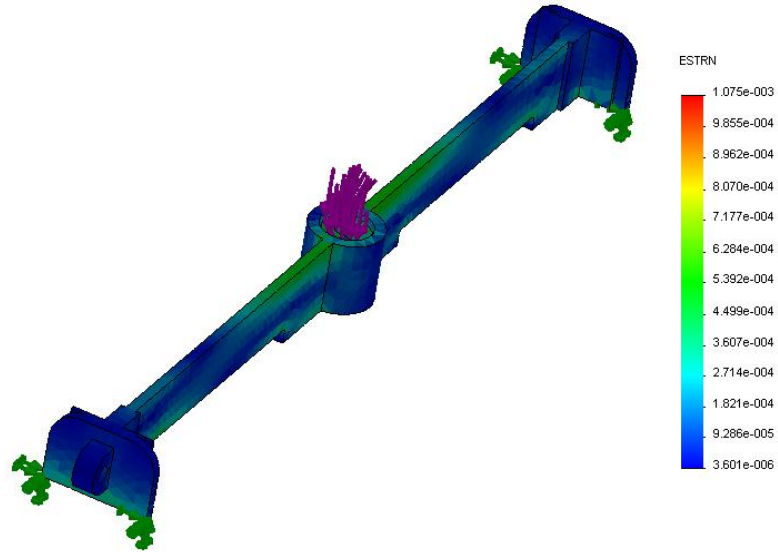


Ilustración 16. Estudio de deformaciones unitarias

Nombre de modelo: TUERCA
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	142318 N/m ² Nodo: 6126	(-334.708 mm, 16.7047 mm, -3.74967 mm)	3.93138e+008 N/m ² Nodo: 11382	(-307.917 mm, -0.250293 mm, -1.21872e-005 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1571	(314.754 mm, -0.5 mm, 37.5 mm)	0.777511 mm Nodo: 1477	(7.02417 mm, 49.2903 mm, -24.3002 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.60138e-006 Elemento: 5755	(-334.427 mm, 26.7678 mm, -1.03333 mm)	0.00107476 Elemento: 2978	(309.626 mm, -0.250215 mm, -2.65857 mm)

- SEGUNDA SIMULACIÓN: análisis para las orejas del pasador.

Ilustración 17. Estudio de tensiones

Nombre de modelo: TUERCA
Nombre de estudio: Estudio 2
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

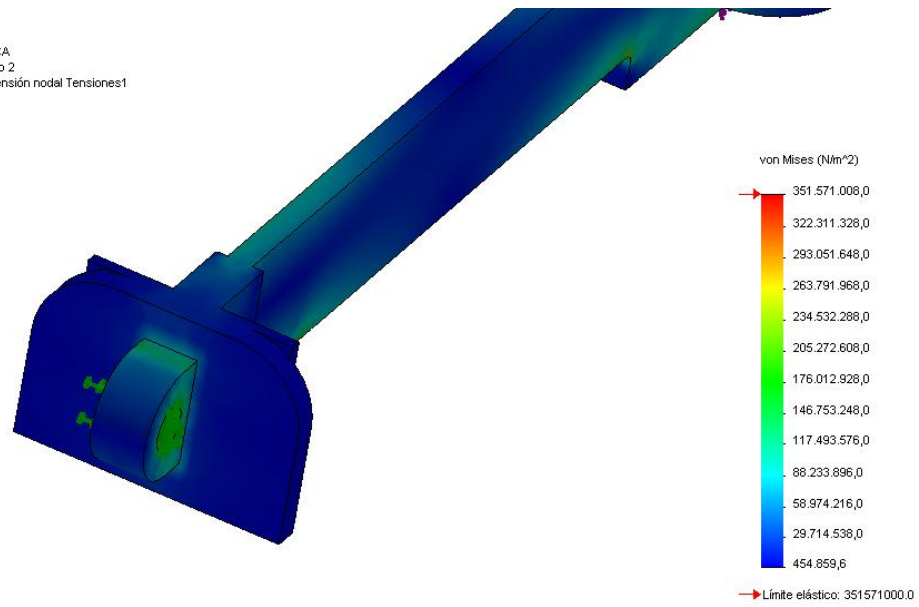


Ilustración 18. Estudio de desplazamientos

Nombre de modelo: TUERCA
Nombre de estudio: Estudio 2
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

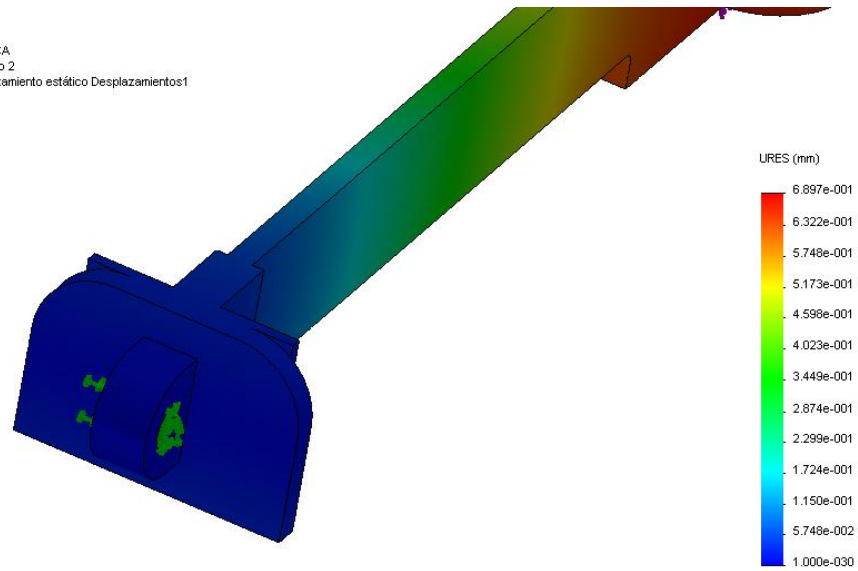
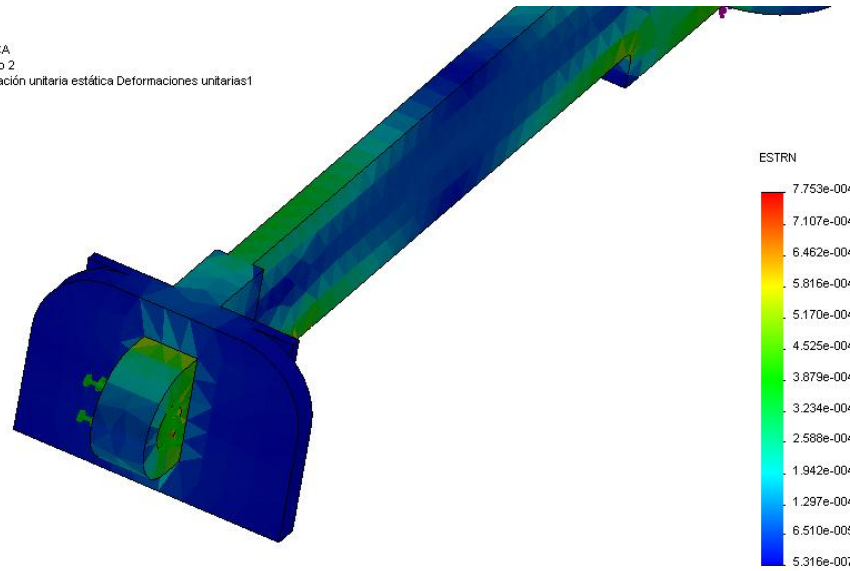


Ilustración 19. Estudio de deformaciones unitarias.

Nombre de modelo: TUERCA
 Nombre de estudio: Estudio 2
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	75284.9 N/m ² Nodo: 5721	(311.233 mm, 5.80836 mm, 37.4993 mm)	2.35407e+008 N/m ² Nodo: 9233	(-76.582 mm, 11.3235 mm, 3.22075 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 292	(318.754 mm, 25 mm, 7.5 mm)	0.689723 mm Nodo: 209	(-7.02715 mm, 0.638611 mm, -24.2432 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5.31633e-007 Elemento: 1717	(310.212 mm, 2.97495 mm, 36.4975 mm)	0.000775297 Elemento: 4010	(-75.5277 mm, 11.588 mm, 0.702807 mm)

D. BISAGRA DE AGARRE PARA LA TUERCA

- PRIMERA SIMULACIÓN: análisis de esfuerzos sobre el cuerpo de esta bisagra.

Ilustración 20. Estudio de tensiones

Nombre de modelo: GANCHO
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

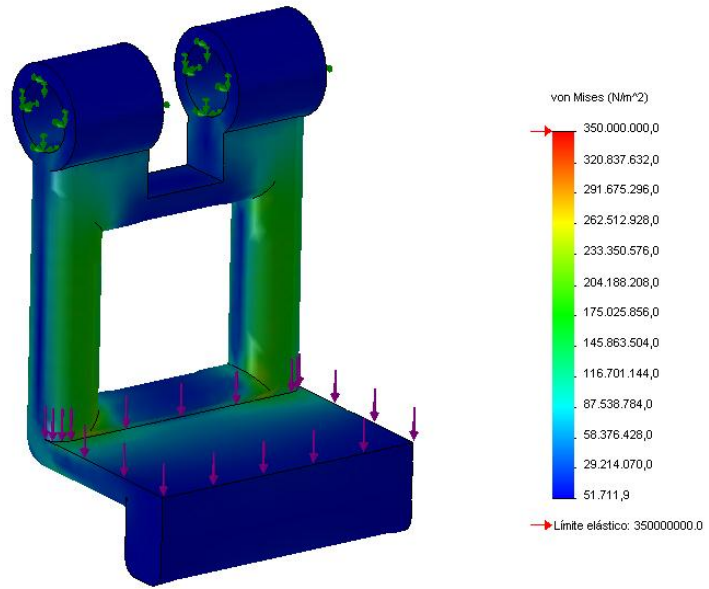


Ilustración 21. Estudio de desplazamientos

Nombre de modelo: GANCHO
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

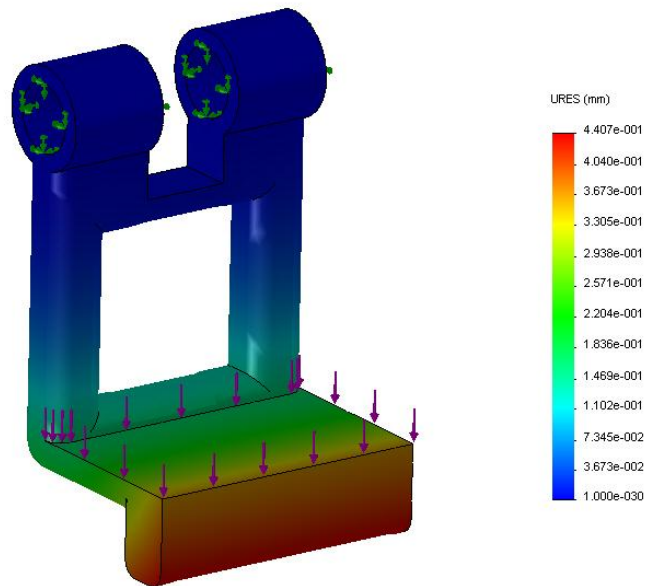
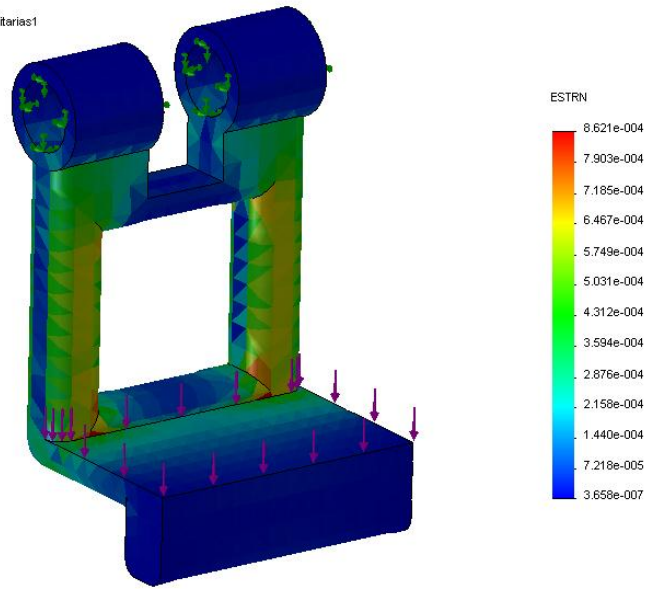


Ilustración 22. Estudio de deformaciones unitarias

Nombre de modelo: GANCHO
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	20318.4 N/m ² Nodo: 8602	(8.38906e-006 mm, 35.125 mm, -9 mm)	2.68838e+008 N/m ² Nodo: 4758	(4.84474 mm, 43.1661 mm, 54.4474 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 111	(0 mm, 17.5 mm, -6 mm)	0.440706 mm Nodo: 5181	(33.8184 mm, 25 mm, 70.3502 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.65768e-007 Elemento: 4157	(-0.440016 mm, 39.9375 mm, -8.15442 mm)	0.000862127 Elemento: 2083	(4.28953 mm, 8.30724 mm, 54.5398 mm)

E. PASADOR PARA LA BISAGRA DE AGARRE

- PRIMERA SIMULACION: análisis de esfuerzos sobre el cuerpo del pasador.

Ilustración 23. Estudio de tensiones

Nombre de modelo: PASADOR GANCHO
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

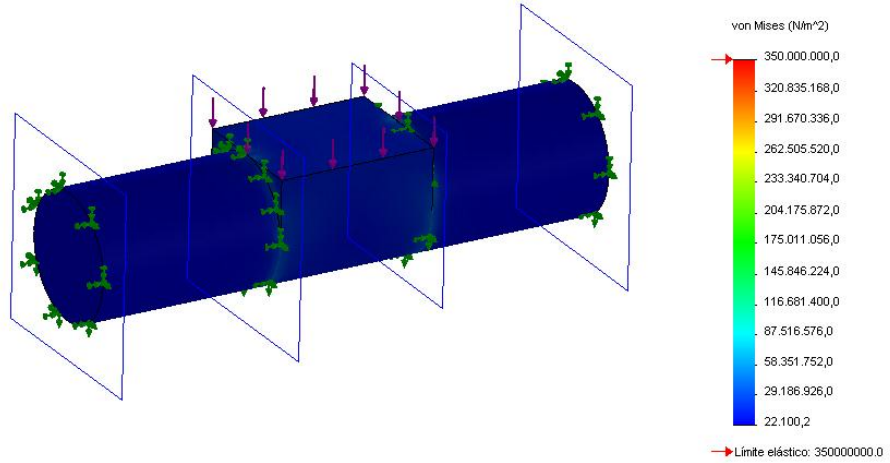


Ilustración 24. Estudio de desplazamientos

Nombre de modelo: PASADOR GANCHO
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

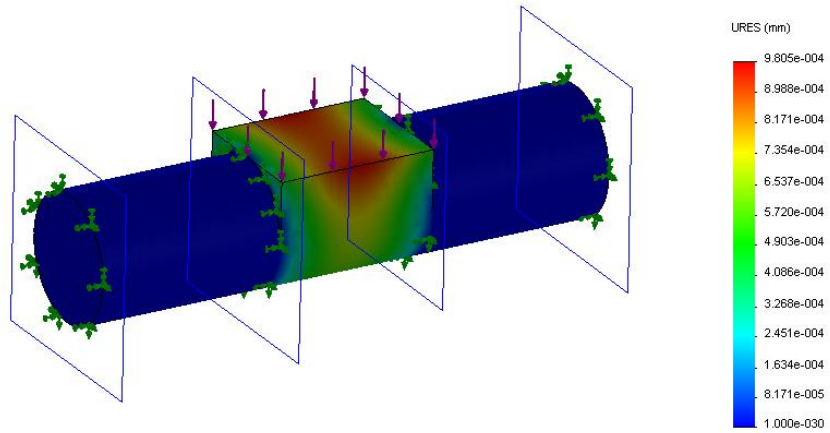
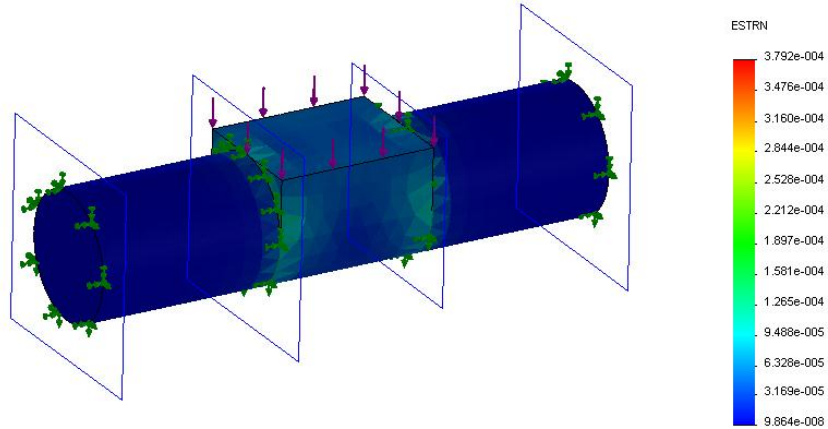


Ilustración 25. Estudio de deformaciones unitarias

Nombre de modelo: PASADOR GANCHO
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	22100.2 N/m ² Nodo: 7478	(-3.46971 mm, -9.76734e-007 mm, -0.0295063 mm)	1.44029e+008 N/m ² Nodo: 10179	(-3.65191 mm, 32.55 mm, 4.75933 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	(7.34788e-016 mm, 17.5 mm, 6 mm)	0.000980536 mm Nodo: 6851	(-5.99904 mm, 25 mm, -6.0002 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	9.86435e-008 Elemento: 5389	(-2.86554 mm, 0.325316 mm, -0.0574358 mm)	0.000379213 Elemento: 5727	(-5.6714 mm, 32.5587 mm, -1.2017 mm)

F. BRAZO PARA APOYAR LA EXTRACCIÓN DEL FONDO COMPACTADOR

- PRIMERA SIMULACIÓN: análisis condición crítica (en caso de recargar toda la fuerza sobre el extremo más alejado del eje central).

Ilustración 26. Estudio de tensiones

Nombre de modelo: brazo para sacar el fondo
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

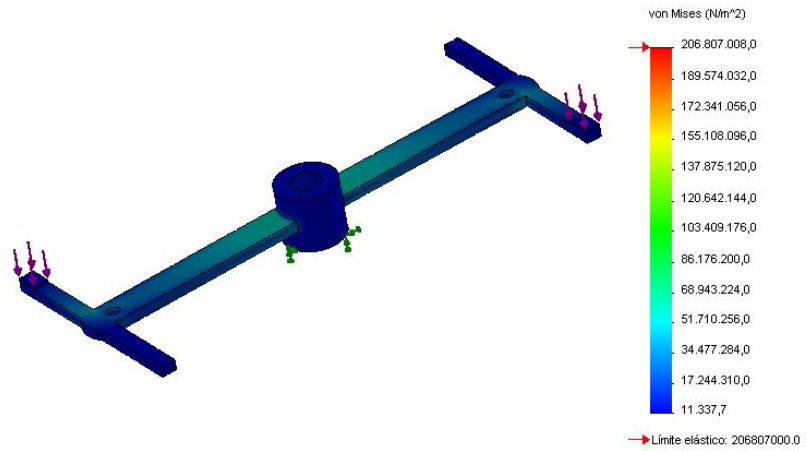


Ilustración 27. Estudio de desplazamientos

Nombre de modelo: brazo para sacar el fondo
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

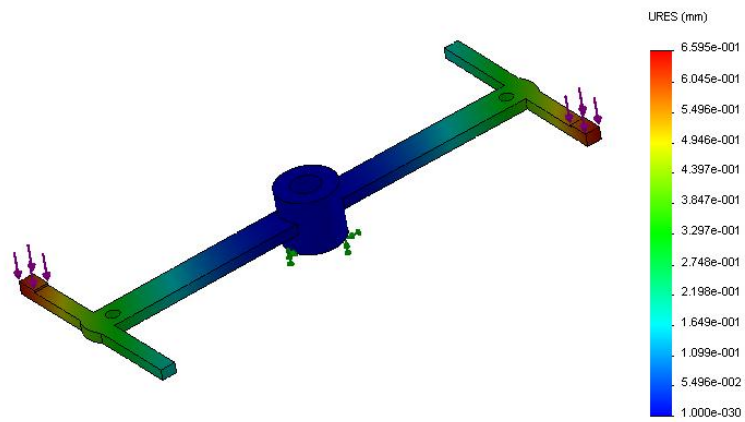
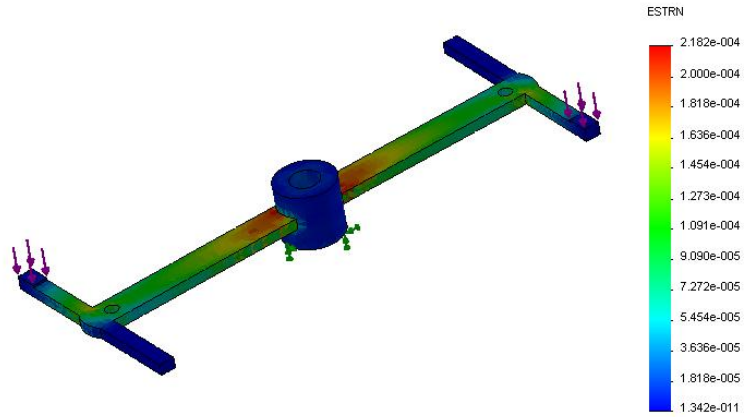


Ilustración 28. Estudio de deformaciones unitarias

Nombre de modelo: brazo para sacar el fondo
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	4.90029 N/m ² Nodo: 5958	(-40.504 mm, 12.9668 mm, -105.494 mm)	6.38173e+007 N/m ² Nodo: 15450	(1.91958 mm, 9.99887 mm, -14.9697 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 174	(-11.6913 mm, 0 mm, 6.75 mm)	0.659481 mm Nodo: 1882	(47.0214 mm, 15.3412 mm, -111.565 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.34171e-011 Elemento: 7339	(-31.747 mm, 13.092 mm, -105.048 mm)	0.000218166 Elemento: 9794	(-3.21405 mm, 10.6198 mm, 14.4873 mm)

G. GARFIO PARA GIRAR EL FONDO DE COMPACTACION

- PRIMERA SIMULACION: análisis general

Ilustración 29. Estudio de tensiones

Nombre de modelo: garfio
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

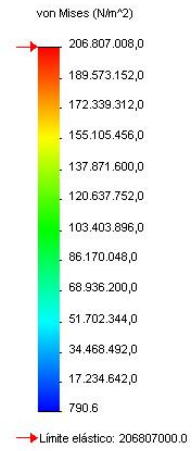
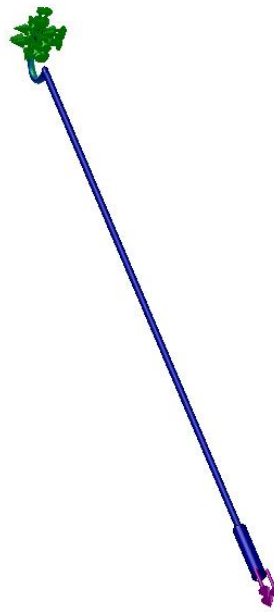


Ilustración 30. Estudio de desplazamientos

Nombre de modelo: garfio
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

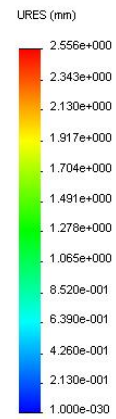
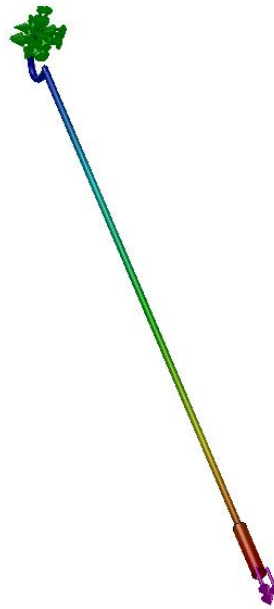
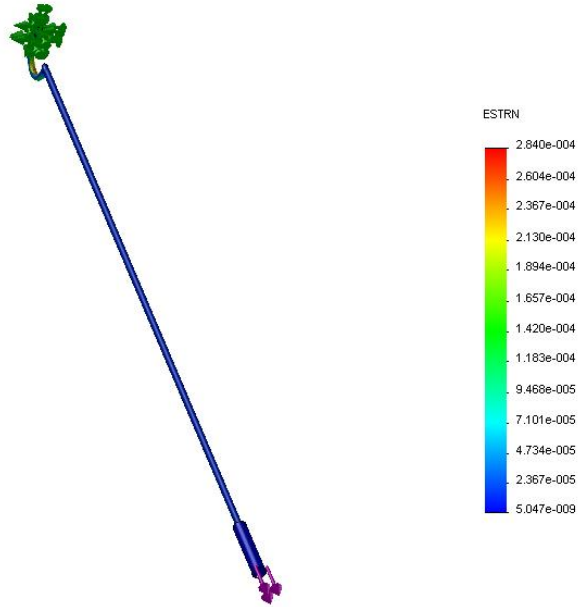


Ilustración 31. Estudio de deformaciones unitarias

Nombre de modelo: garfio
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	790.618 N/m ² Nodo: 11835	(0.0736344 mm, 582.221 mm, -12.6618 mm)	8.64236e+007 N/m ² Nodo: 16	(-1.34046e-006 mm, 566.844 mm, 12.5826 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 75	(0 mm, 580.427 mm, -2.19122 mm)	2.55613 mm Nodo: 1291	(-0.000492188 mm, -0.0830956 mm, -2.20772 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5.04673e-009 Elemento: 3678	(-0.355666 mm, 582.778 mm, -12.2472 mm)	0.000284028 Elemento: 3158	(0.471272 mm, 568.372 mm, 13.1221 mm)

H. BASE DEL DESTILADOR

- PRIMERA SIMULACION: análisis para todo el conjunto de la base

Ilustración 32. Estudio de esfuerzos

Nombre de modelo: cuerpoesfuerzos3
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

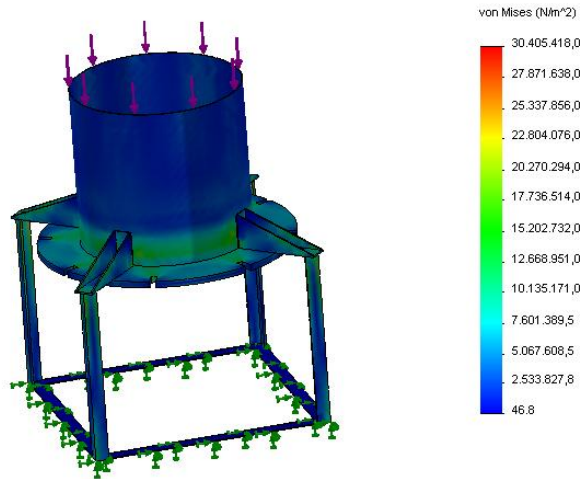


Ilustración 33. Estudio de desplazamientos

Nombre de modelo: cuerpoesfuerzos3
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

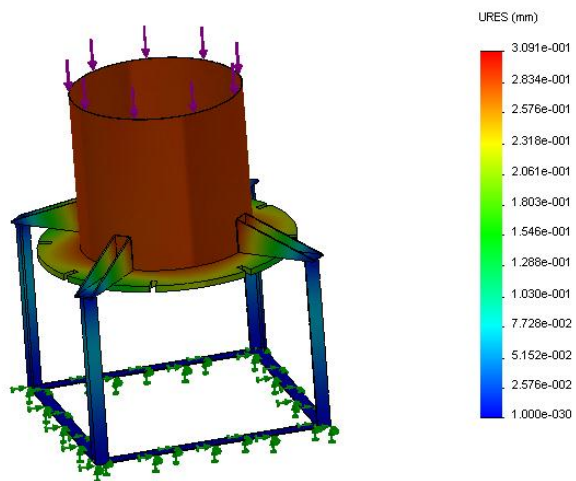
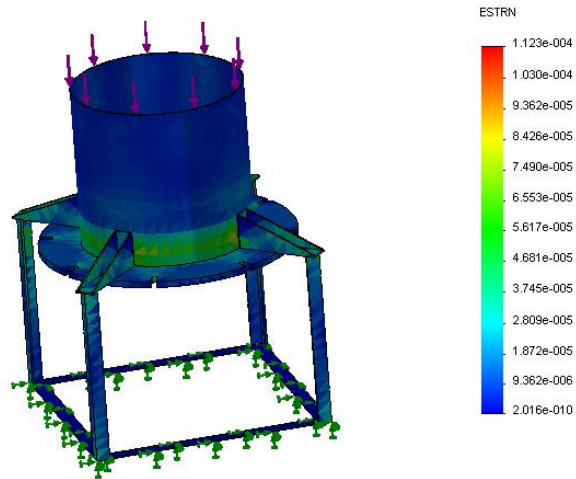


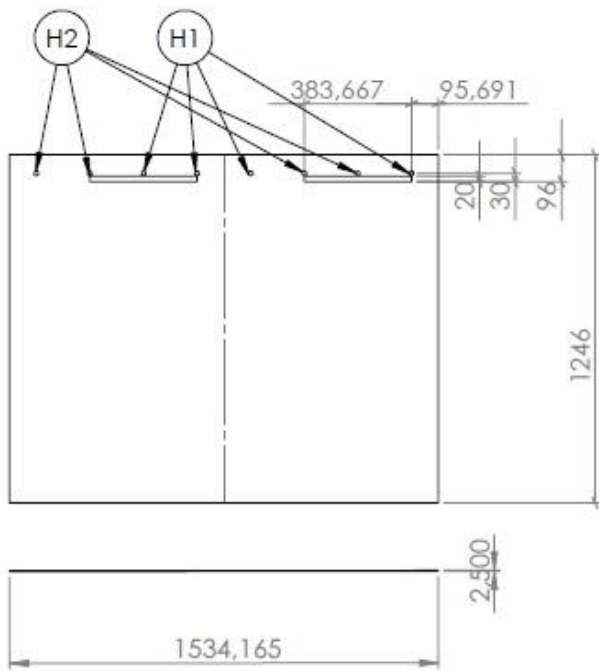
Ilustración 34. Estudio deformaciones unitarias

Nombre de modelo: cuerpoestruzos3
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1

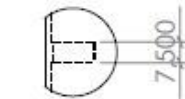
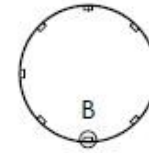
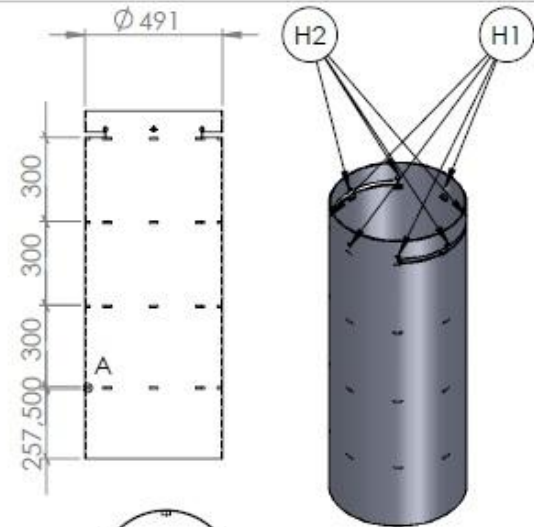


Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	46.7914 N/m ² Nodo: 2839	(-80.516 mm, -549 mm, -344.061 mm)	3.04054e+007 N/m ² Nodo: 9610	(305.951 mm, -61.6438 mm, 337.758 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 2825	(344.061 mm, -549 mm, -344.061 mm)	0.30911 mm Nodo: 18860	(-155.172 mm, 53.7178 mm, 193.36 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.01628e-010 Elemento: 7793	(4.02287 mm, -548.625 mm, -329.768 mm)	0.000112344 Elemento: 8878	(-191.477 mm, -42.528 mm, -155.286 mm)

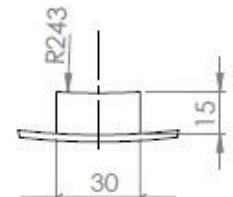
Anexo F. PLANOS



ELEMENTO	DIÁMETRO (mm)
H1	16
H2	15

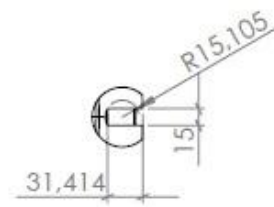
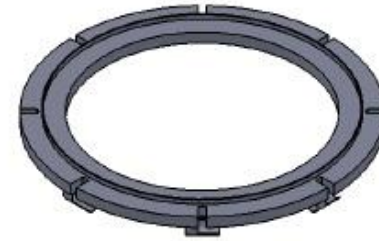
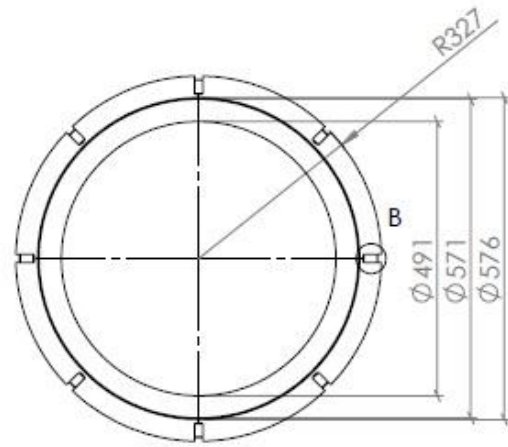


DETALLE A
ESCALA 1 : 2

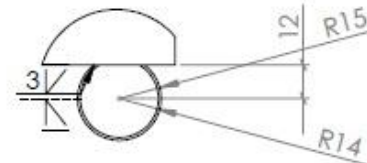
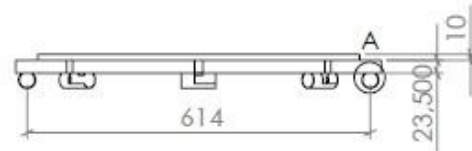


DETALLE B
ESCALA 1 : 2

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		ENVOLVENTE	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARTIA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMENEZ		ESCALA: 1:20	PLANO NO. 1.1
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

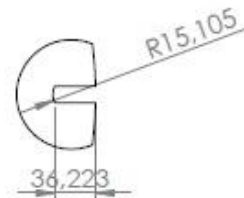
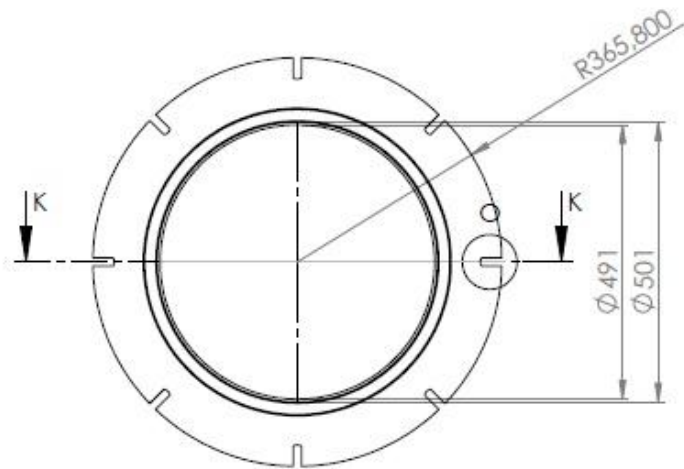


DETALLE B
ESCALA 1 : 5

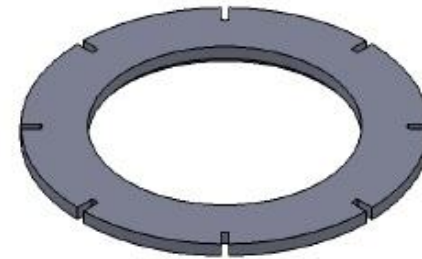


DETALLE A
ESCALA 1 : 2

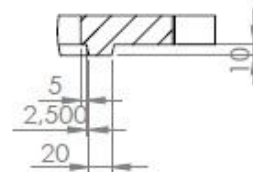
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACION DE ACBITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACION EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACION		BRIDA SUPERIOR DEL CUERPO	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ		ESCALA: 1:10	PLANO NO. 1.2
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEI		Unidades: mm	HOJA 1 DE 1



DETALLE O
ESCALA 1 : 5

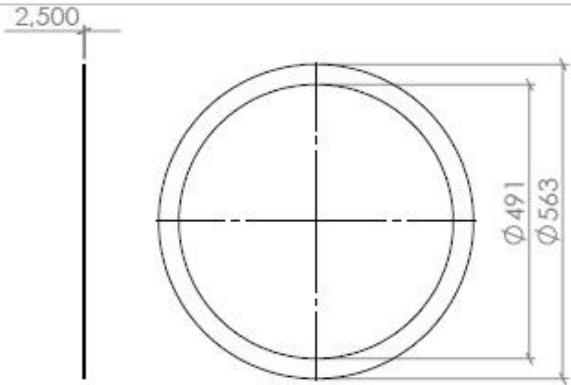


SECCIÓN K-K

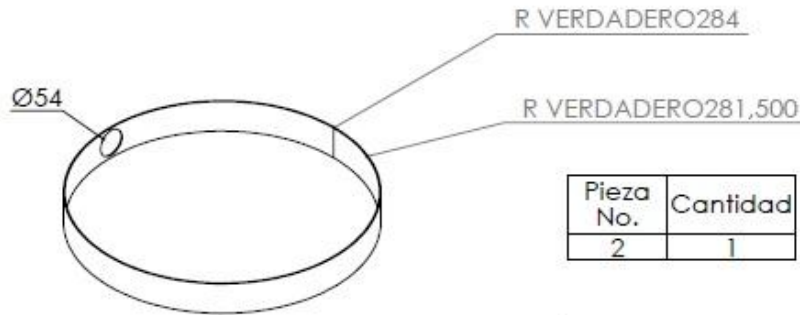
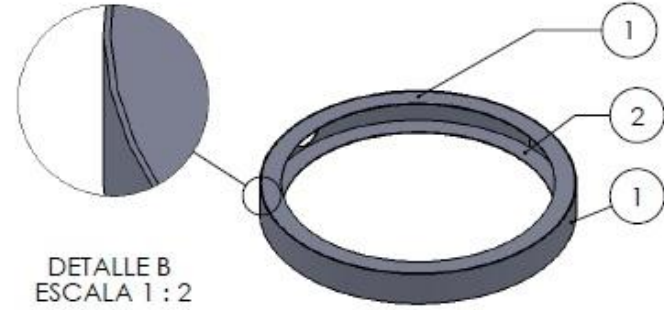


DETALLE M
ESCALA 1 : 5

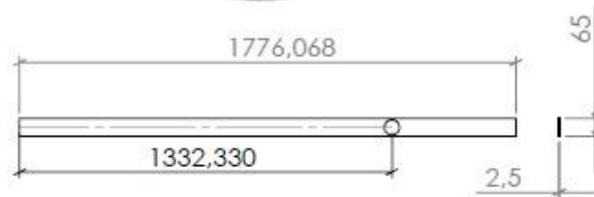
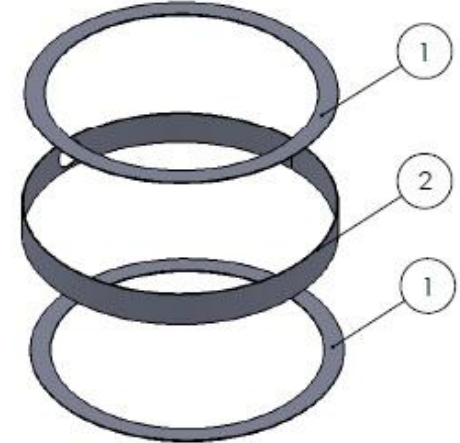
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACRILES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		BRIDA INFERIOR DEL CUERPO	A4
DIBUJANTES ANDREA ANGARTIA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ		ESCALA: 1:10	PLANO NO. 1.3
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		Unidades: mm	HOJA 1 DE 1



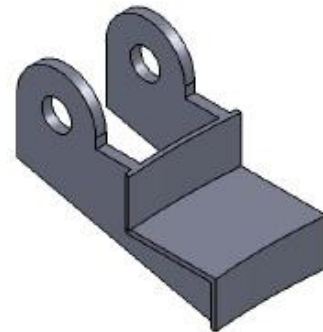
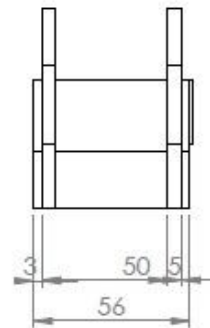
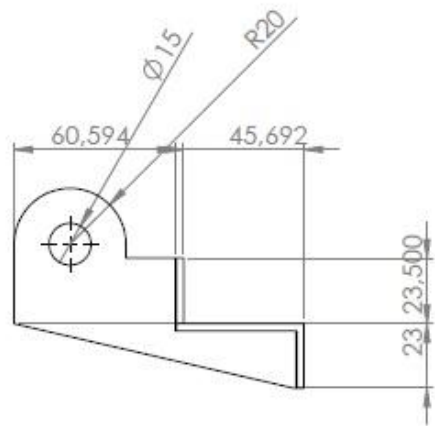
Pieza No.	Cantidad
1	2



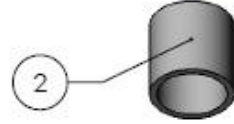
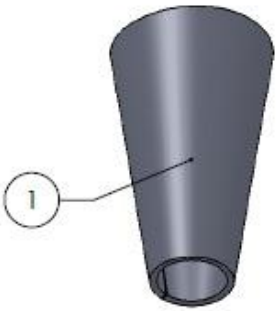
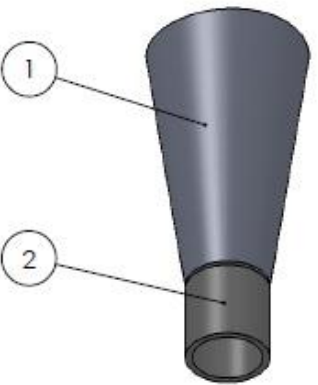
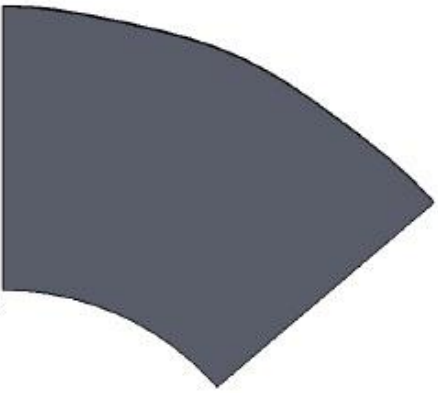
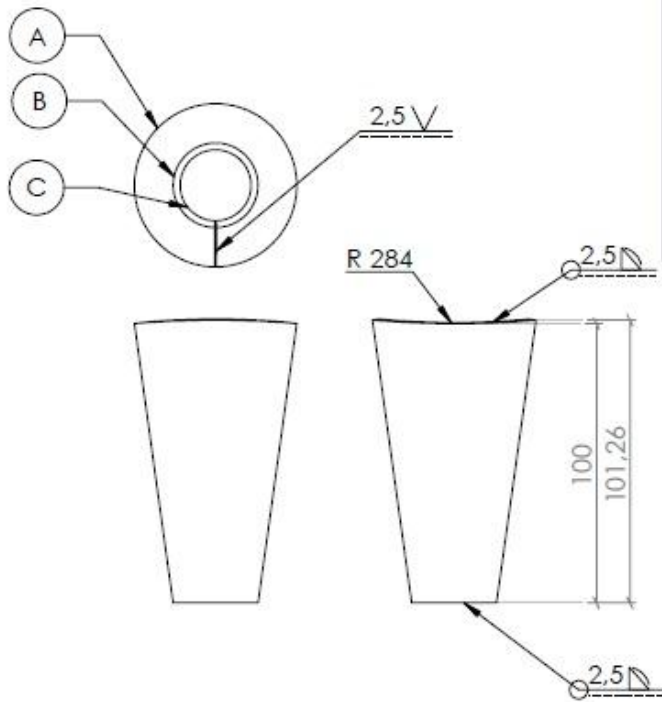
Pieza No.	Cantidad
2	1



ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBAQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACETOS ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		DISTRIBUIDOR CIRCUNFERENCIAL DE PRESIÓN	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ			PLANO NO. 1.4
DIRECTOR: ING. OMAR OLVEZ		ESCALA: 1:10	Unidades: mm
		HOJA 1 DE 1	



ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		BISAGRA INFERIOR	A4
DIBUJANTES ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ			PLANO NO. 1.5
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ	ESCALA: 1:2	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

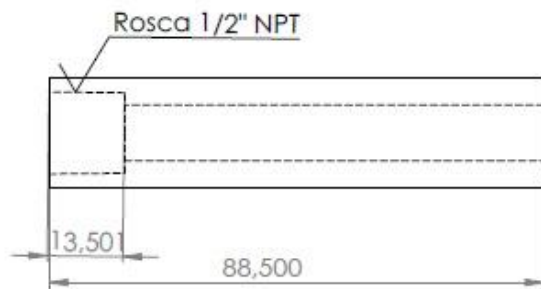


Referencia	Descripción	Medida
A	Diámetro superior externo	59
A	Diámetro superior interno	54
B	Diámetro inferior externo	30.4
C	Diámetro inferior interno	25.4

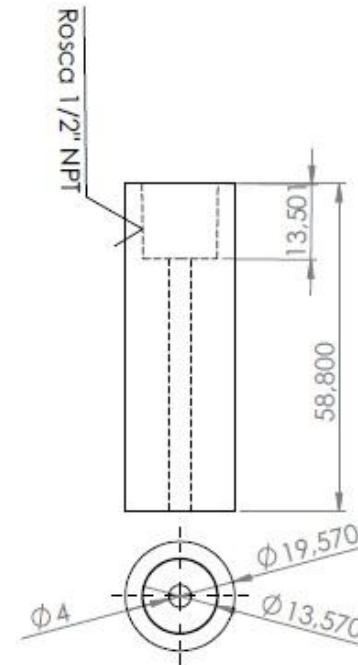
ELEMENTO	CARACTERÍSTICA
2	1/2 ACOPLÉ DE SOLDADURA MACHO NPT, 1"

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		BOQUILLA	A4
DIBUJANTES ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ			PLANO NO. 1.4
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ	ESCALA: 1:2	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

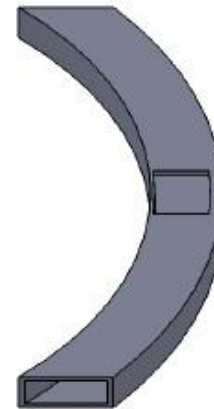
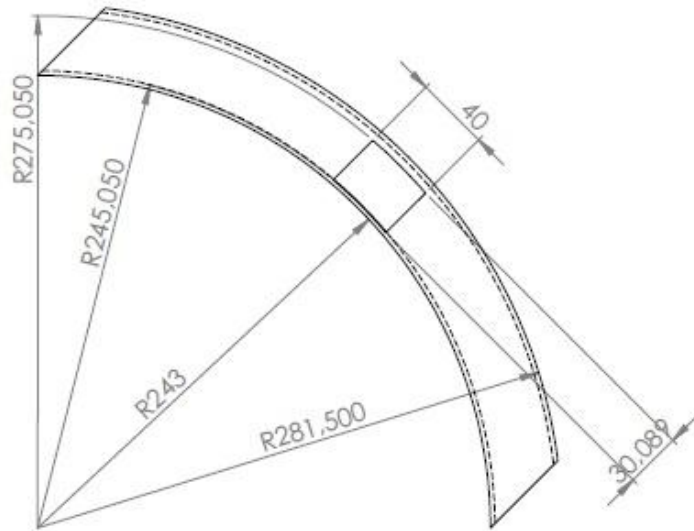
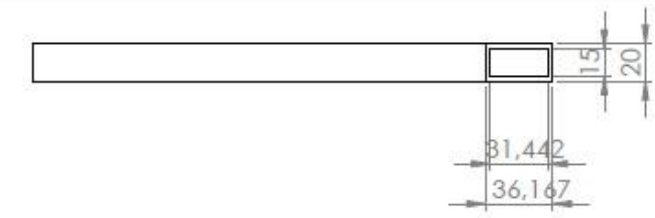
HEMBRA PARA TERMÓMETRO



HEMBRA PARA MANÓMETRO

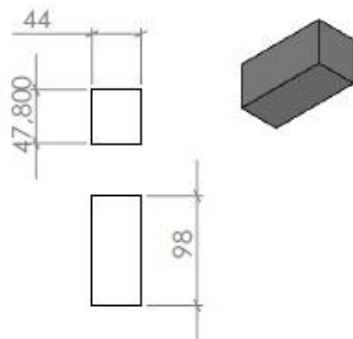


ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACION EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACION		HEMBRA PARA TERMÓMETRO, HEMBRA PARA MANÓMETRO	
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ		A4	
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm
		HOJA 1 DE 1	



CANTIDAD	X2
----------	----

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		CAJA LIMPIEZA	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARTIA GUERRERO - ANDRES STEVEN SELVA JIMENEZ			PLANO NO. 1.8
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ	ESCALA:1:5	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

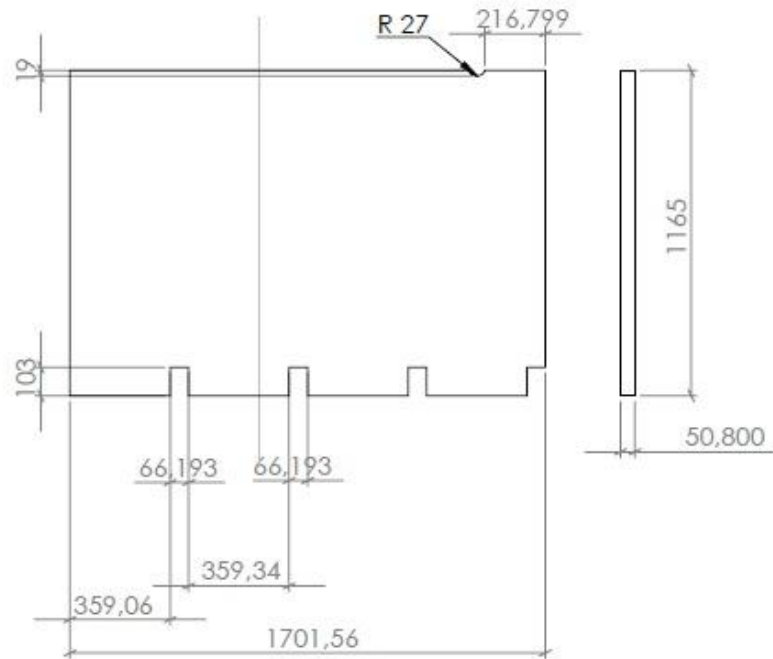


NOMBRE	CANTIDAD	ESCALA
AISLANTE CUÑA	4	1:5

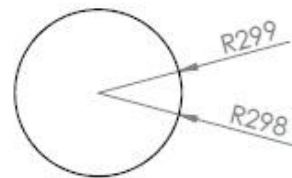
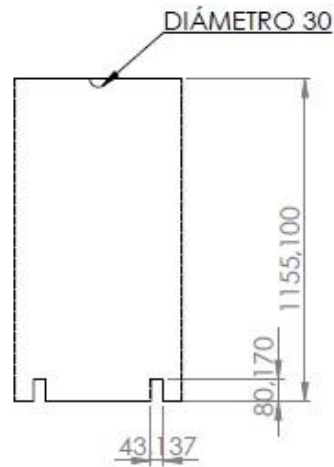
R VERDADERO 296,3

R VERDADERO 284

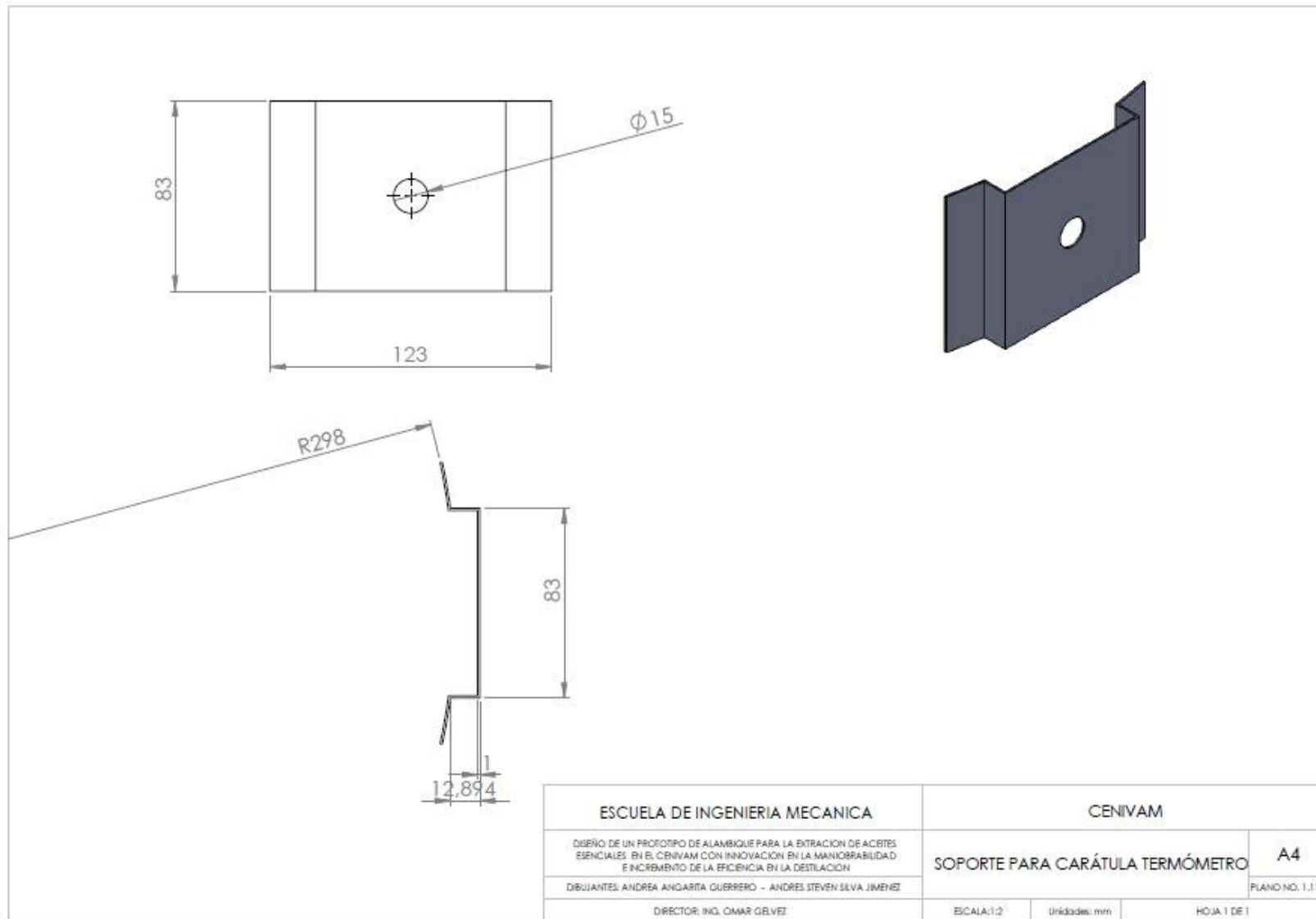
R VERDADERO 245,5



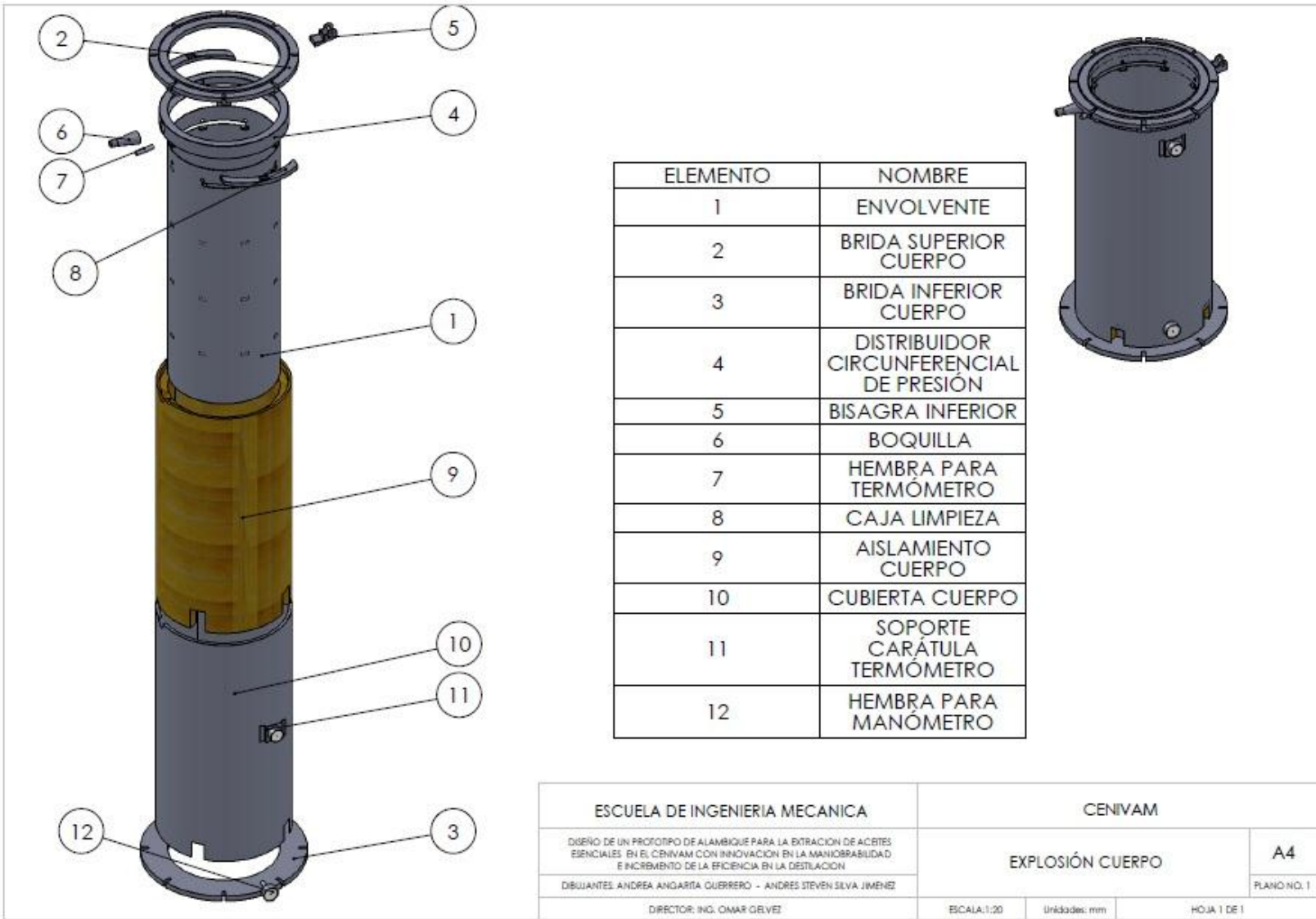
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		AISLAMIENTO CUERPO	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ			PLANO NO. 1.9
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		ESCALA: 1:20	Unidades: mm
		HOJA 1 DE 1	

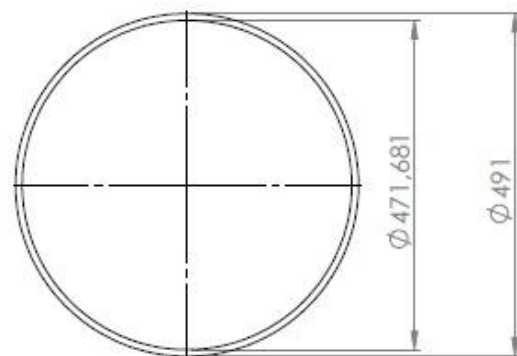
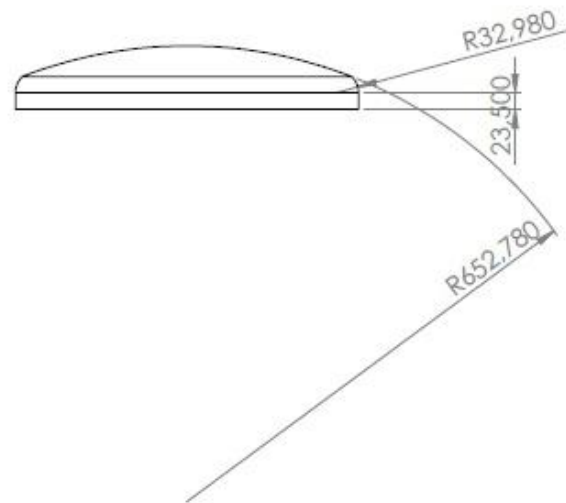


ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		CUBIERTA CUERPO	A4
DIBUJANTES ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ		ESCALA: 1:20	PLANO NO. 1.10
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

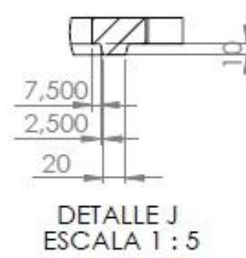
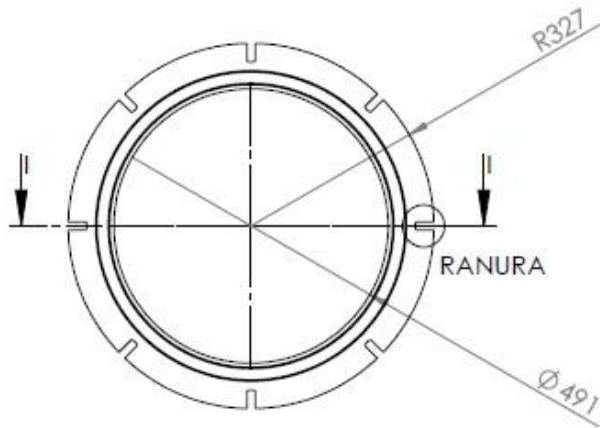


ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		SOPORTE PARA CARÁTULA TERMÓMETRO	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ		PLANO NO. 1.11	
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ	ESCALA: 1:2	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

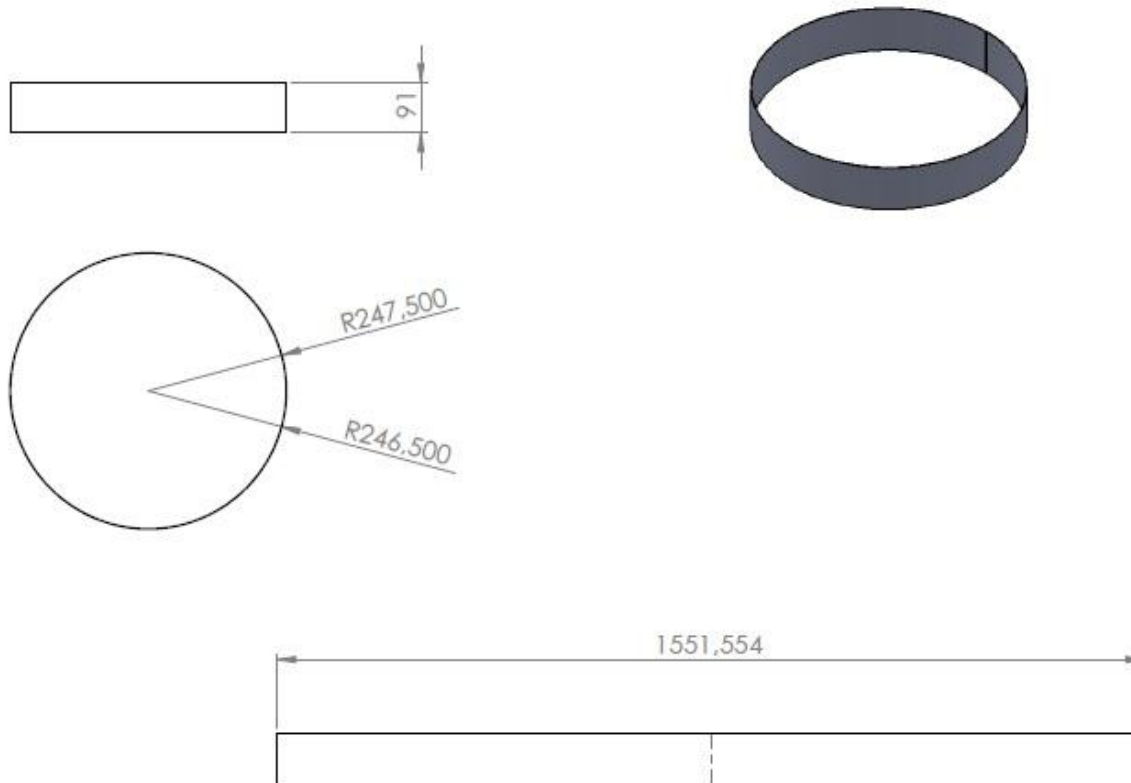




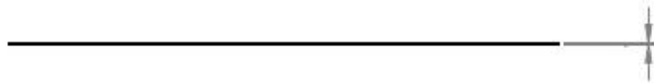
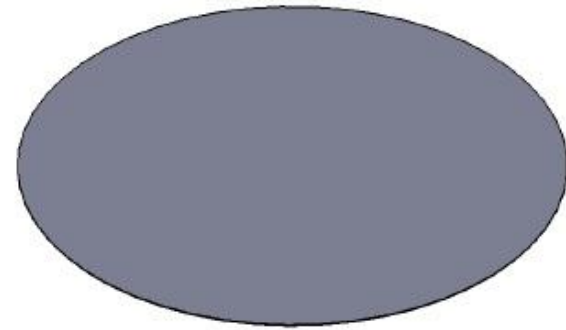
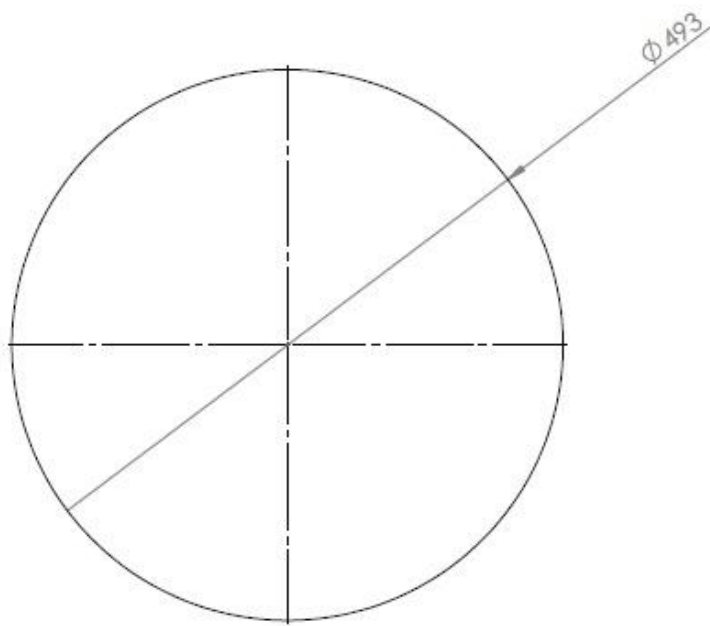
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEBITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		TAPA TORIESFÉRICA SUPERIOR	A4
DIBUJANTES ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ		ESCALA: 1:8	PLANO NO. 2.1
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		Unidades: mm	HOJA 1 DE 1



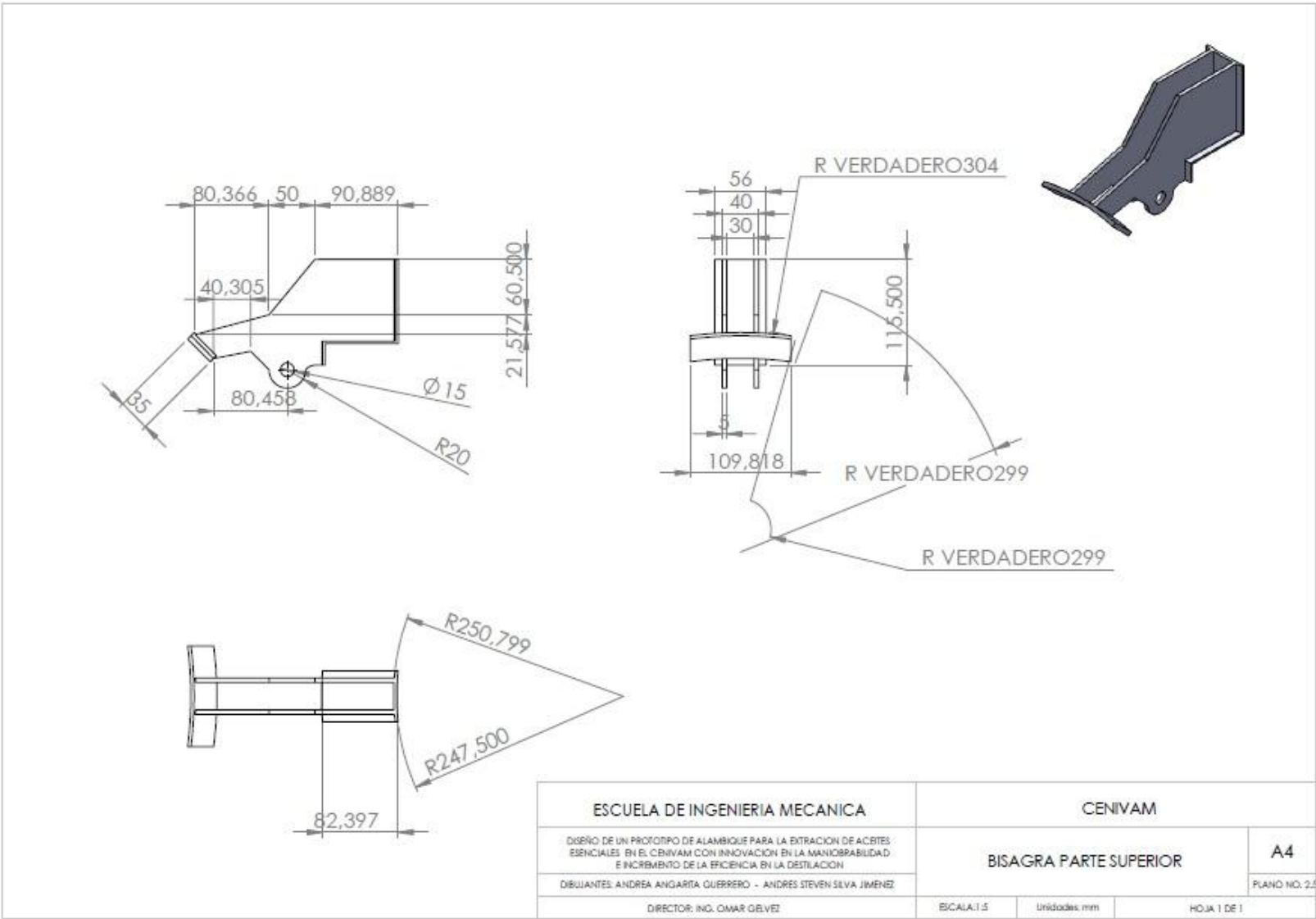
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACION DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACION EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACION		BRIDA TAPA SUPERIOR	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARTIA GERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ			PLANO NO. 22
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		ESCALA: 1:10	Unidades: mm
		HOJA 1 DE 1	



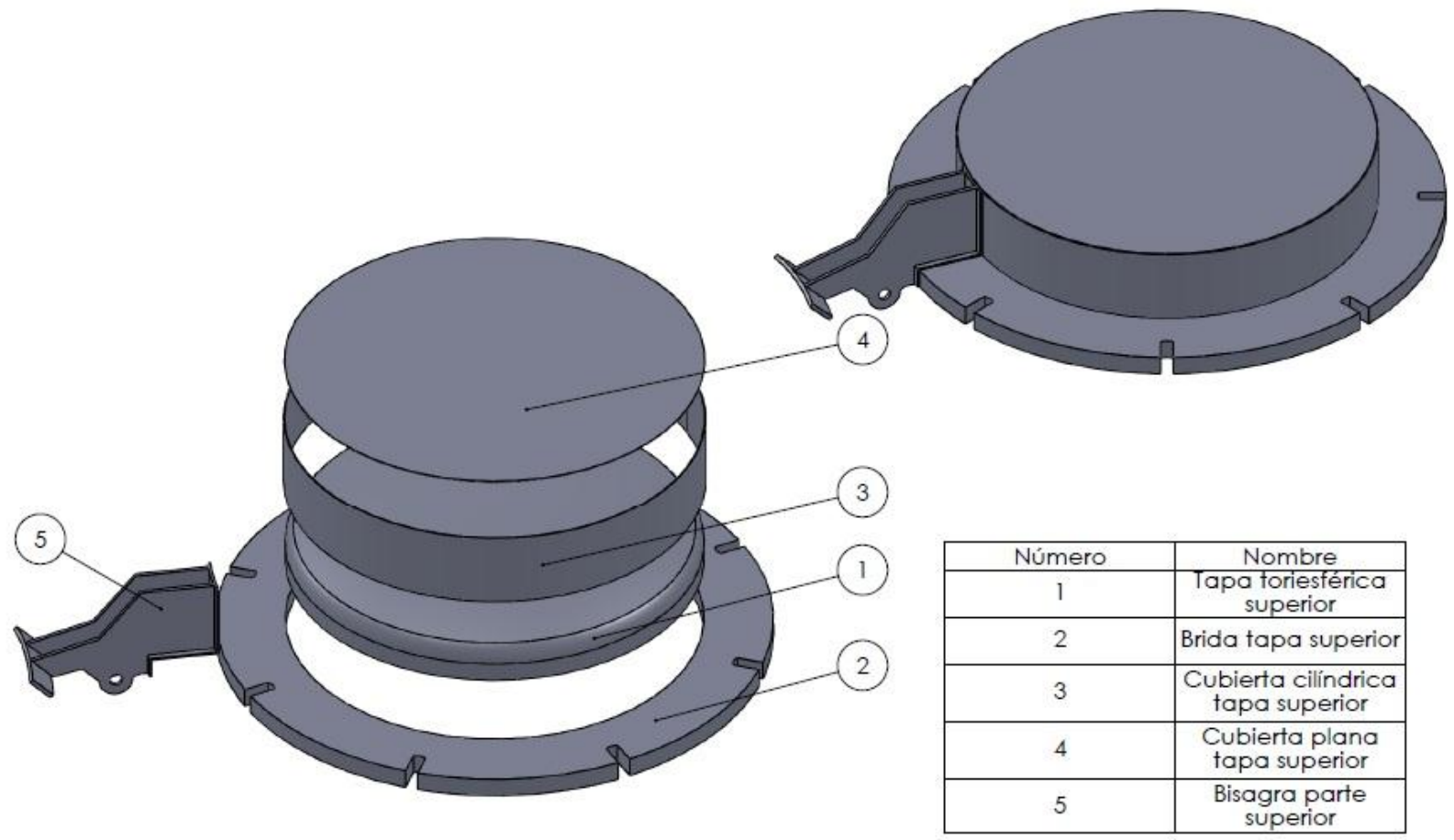
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		CUBIERTA CILÍNDRICA TAPA SUPERIOR	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ		ESCALA: 1:10	PLANO NO. 2.3
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		Unidades: mm	HOJA 1 DE 1



ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCION DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACION EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACION		CUBIERTA PLANA TAPA SUPERIOR	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ		PLANO NO. 24	
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ	ESCALA: 1:5	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

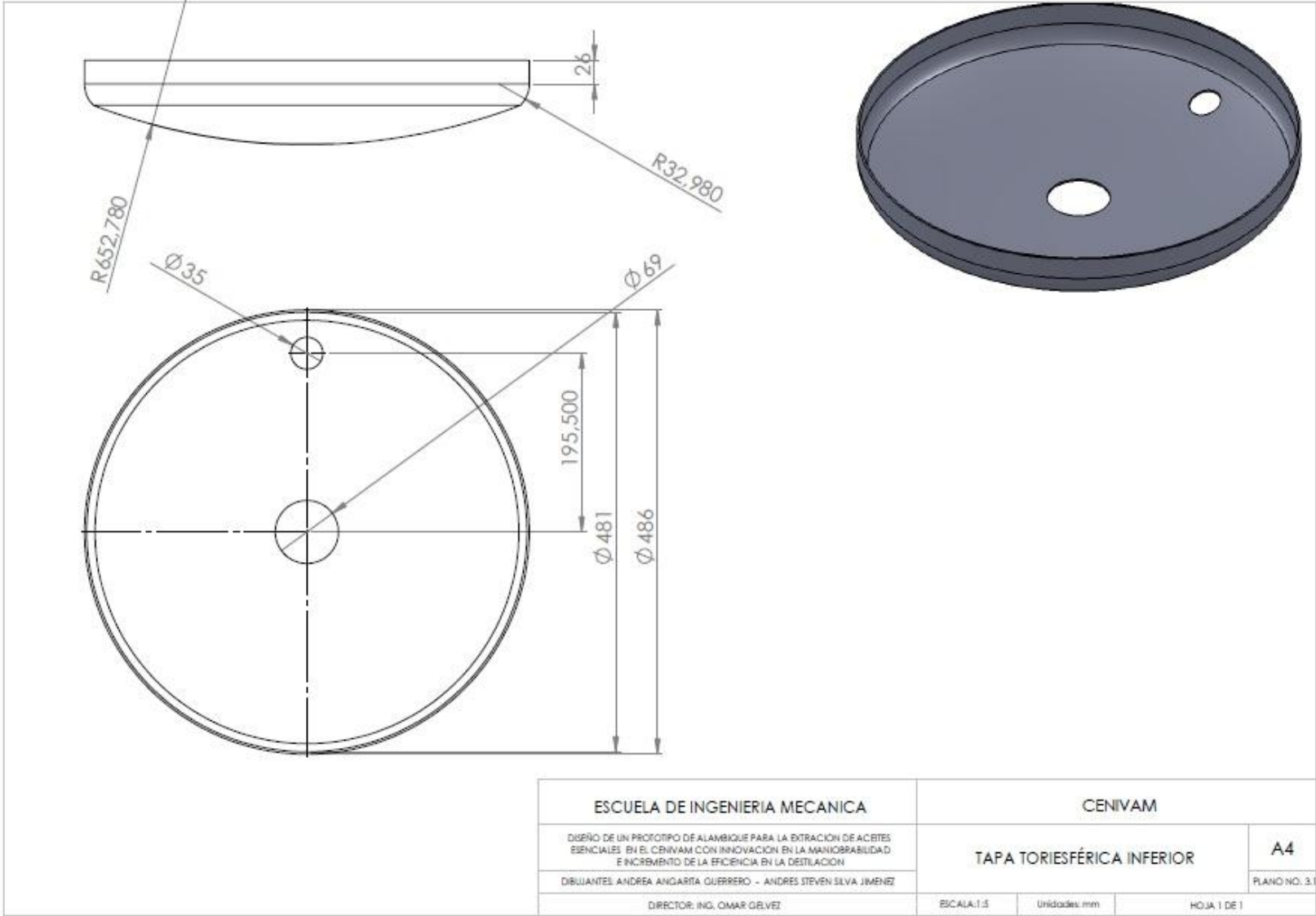


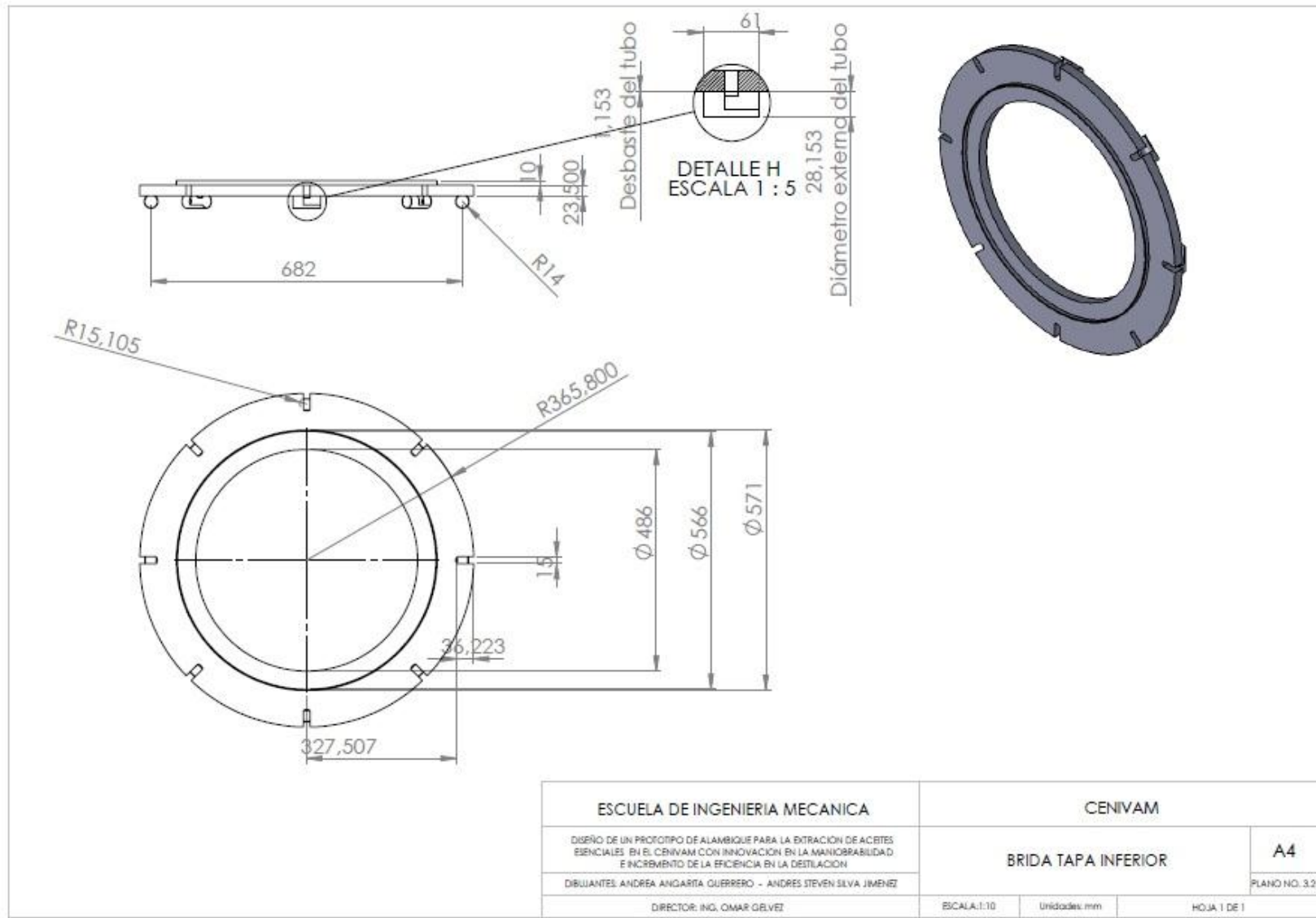
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		BISAGRA PARTE SUPERIOR	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ		PLANO NO. 2.5	
DIRECTOR: ING. OMAR OELVEZ	ESCALA: 1:5	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

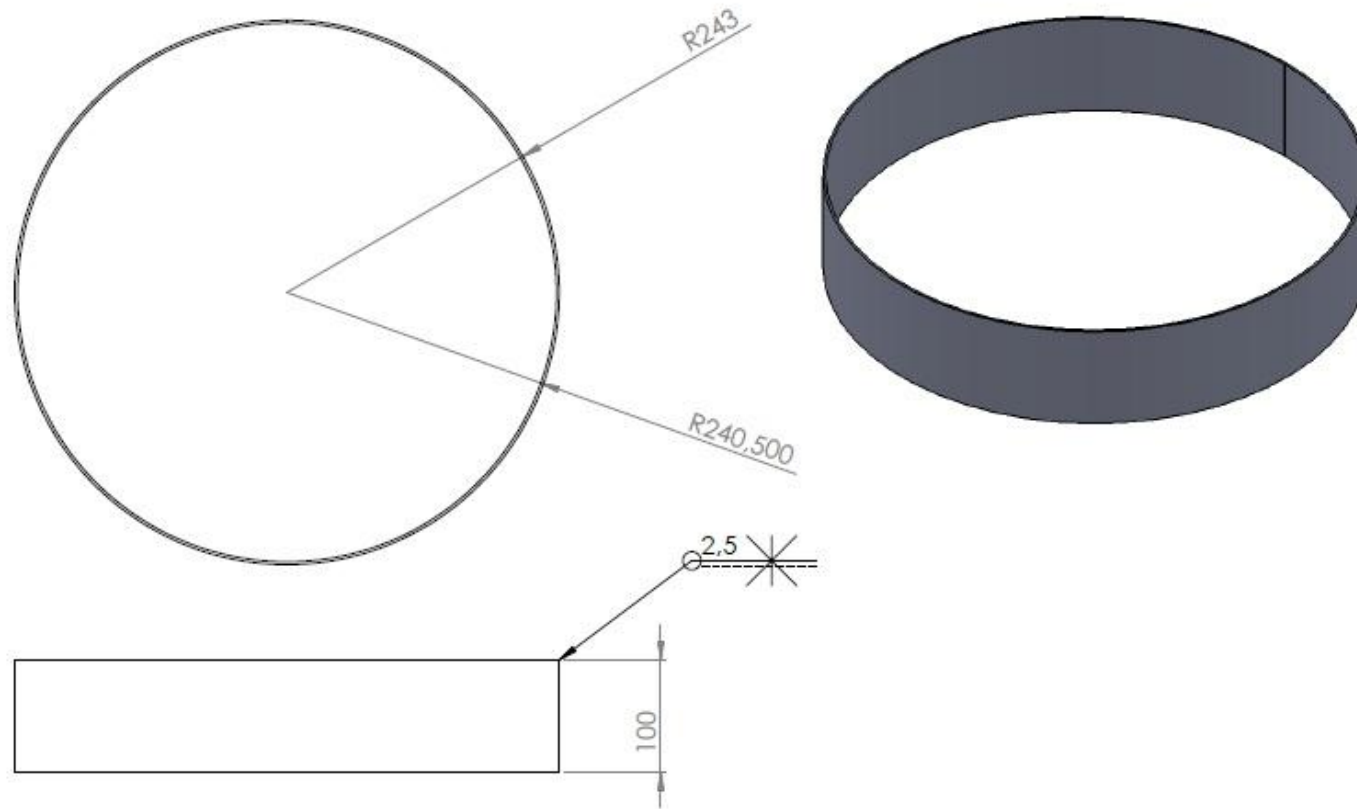


Número	Nombre
1	Tapa torisférica superior
2	Brida tapa superior
3	Cubierta cilíndrica tapa superior
4	Cubierta plana tapa superior
5	Bisagra parte superior

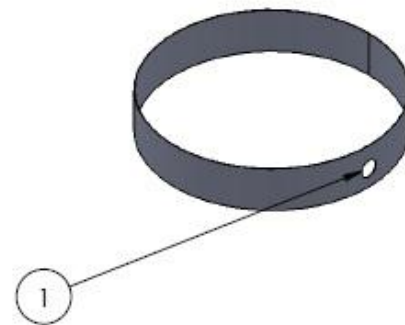
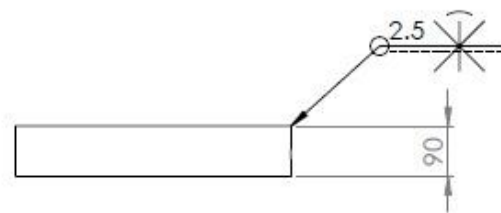
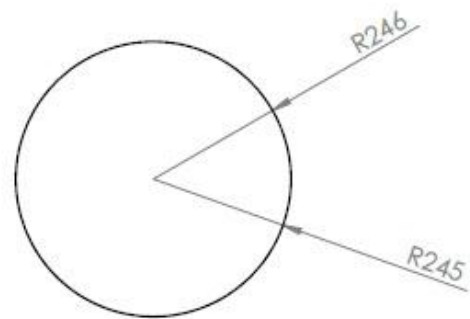
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEBITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACION		EXPLOSIÓN TAPA SUPERIOR	A4 PLANO NO. 2
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ			
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		ESCALA: 1:1	Unidades: mm
		HOJA 1 DE 1	





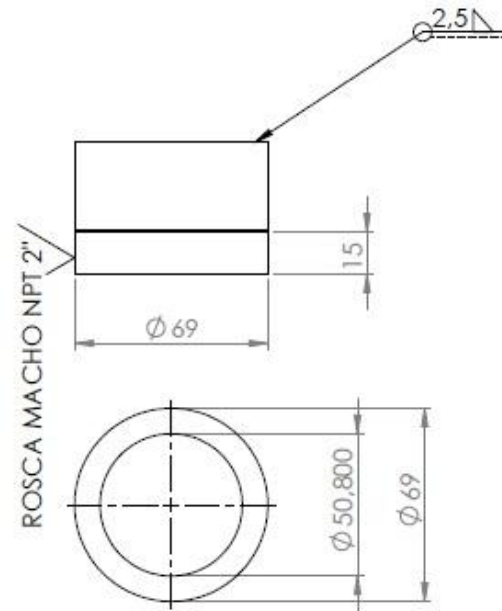


ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		FALDA TAPA INFERIOR	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARTIA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ		ESCALA: 1:5	PLANO NO. 3.3
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		Unidades: mm	HOJA 1 DE 1



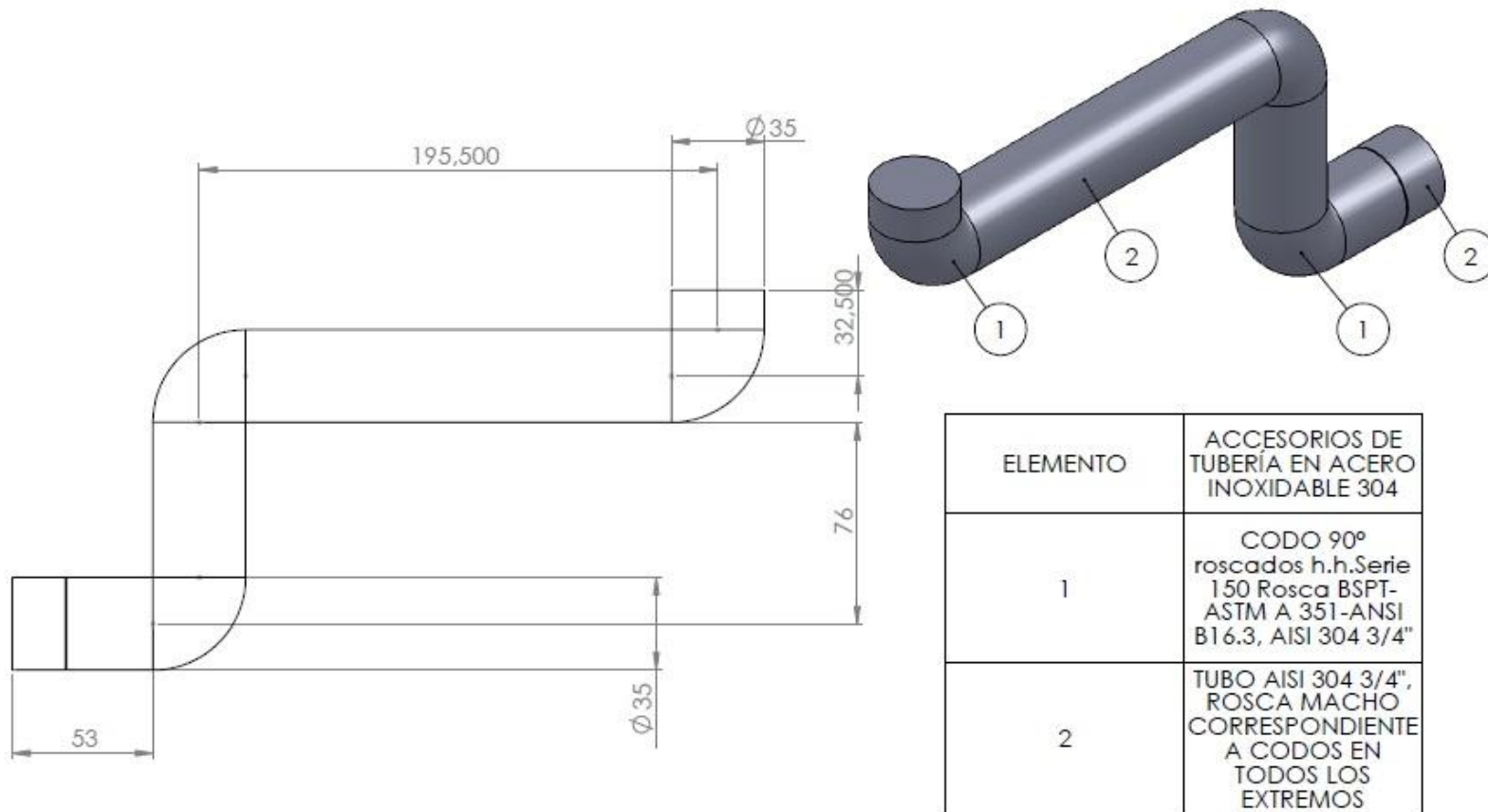
1 35 [mm] Diámetro

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		CUBIERTA CILÍNDRICA INFERIOR	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SELVA JIMÉNEZ			PLANO NO. 3.4
DIRECTOR: ING. OMAR GÓMEZ		ESCALA: 1:10	Unidades: mm
		HOJA 1 DE 1	



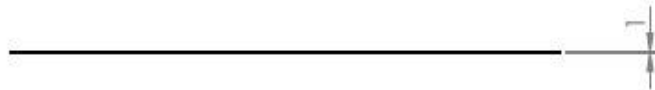
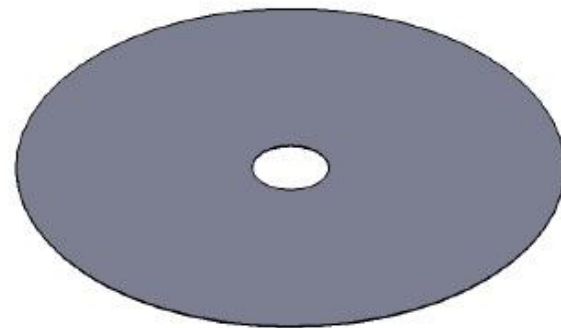
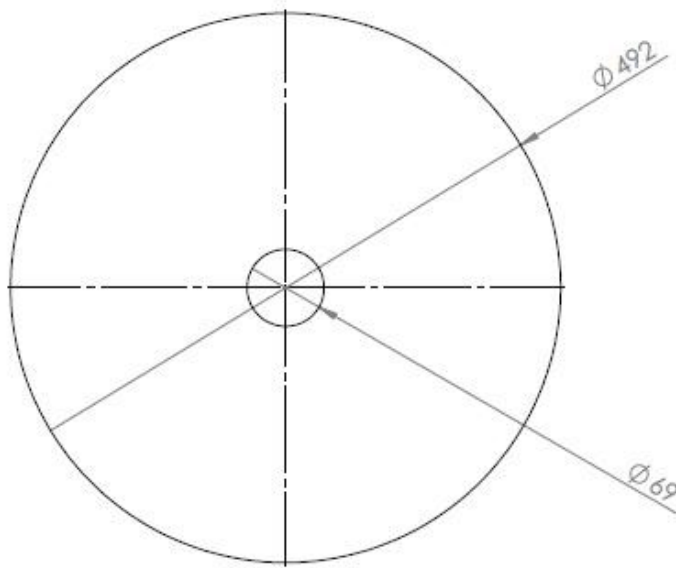
ROSCA	BSPT 2"
MATERIAL	ACERO SA 240 GRADO 304

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		TUBO DESAGUE	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ			PLANO NO. 3.5
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ	ESCALA: 1:2	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

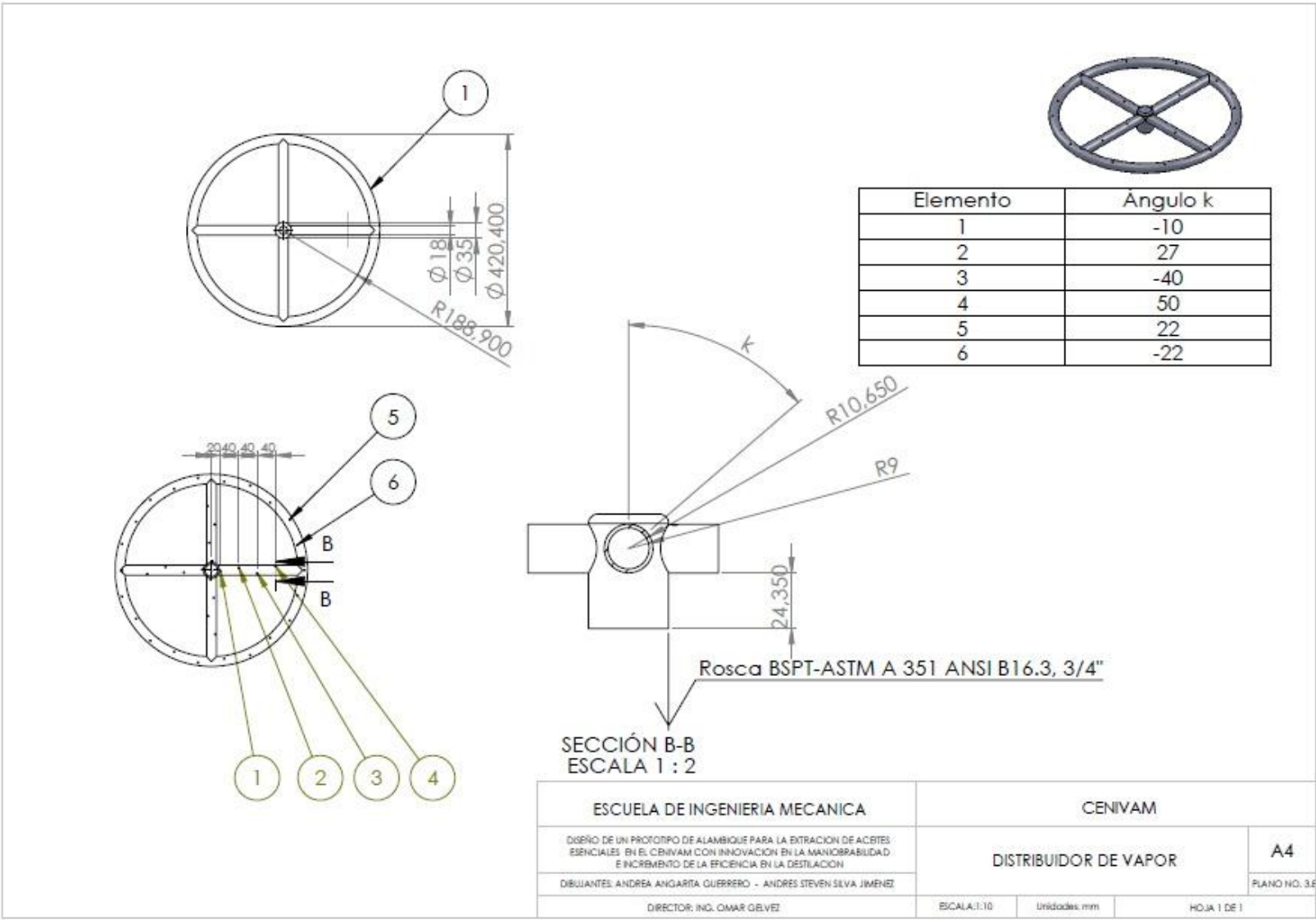


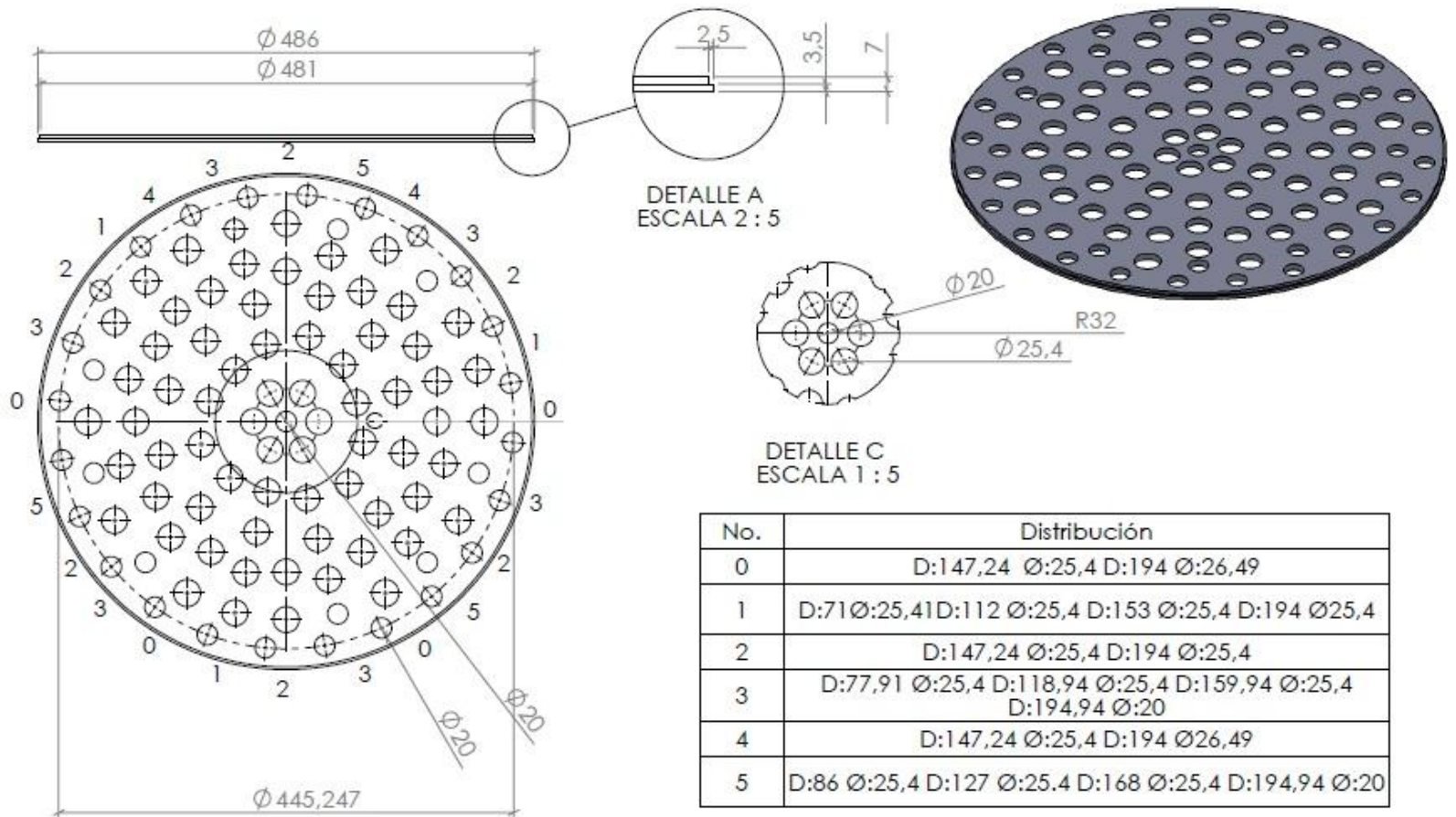
ELEMENTO	ACCESORIOS DE TUBERÍA EN ACERO INOXIDABLE 304
1	CODO 90° roscados h.h.Serie 150 Rosca BSPT-ASTM A 351-ANSI B16.3, AISI 304 3/4"
2	TUBO AISI 304 3/4", ROSCA MACHO CORRESPONDIENTE A CODOS EN TODOS LOS EXTREMOS

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEBITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		TUBERÍA ALIMENTACIÓN VAPOR	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ			
DIRECTOR: ING. OMAR OLVEZ	ESCALA: 1:5	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

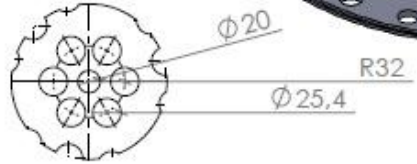


ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		CUBIERTA PLANA INFERIOR	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ		ESCALA: 1:5	PLANO NO. 3.7
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		Unidades: mm	HOJA 1 DE 1





DETALLE A
ESCALA 2 : 5

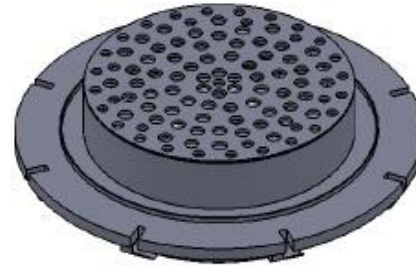
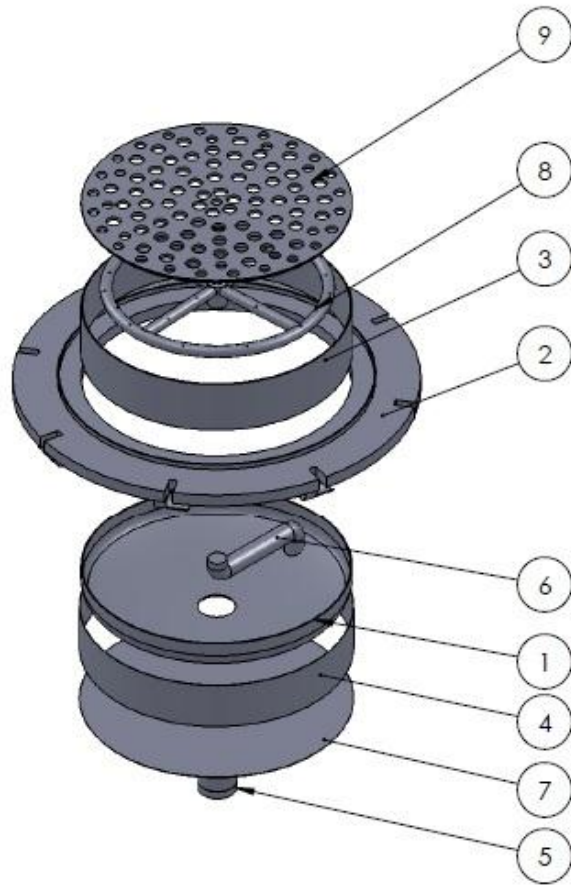


DETALLE C
ESCALA 1 : 5

No.	Distribución
0	D:147,24 ϕ :25,4 D:194 ϕ :26,49
1	D:71 ϕ :25,4 D:112 ϕ :25,4 D:153 ϕ :25,4 D:194 ϕ :25,4
2	D:147,24 ϕ :25,4 D:194 ϕ :25,4
3	D:77,91 ϕ :25,4 D:118,94 ϕ :25,4 D:159,94 ϕ :25,4 D:194,94 ϕ :20
4	D:147,24 ϕ :25,4 D:194 ϕ :26,49
5	D:86 ϕ :25,4 D:127 ϕ :25,4 D:168 ϕ :25,4 D:194,94 ϕ :20

SIMBOLOGIA:
 D: distancia entre centros próximos
 ϕ : diámetro del orificio en ese punto

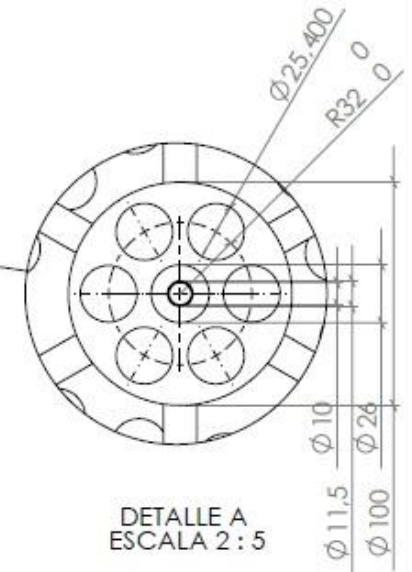
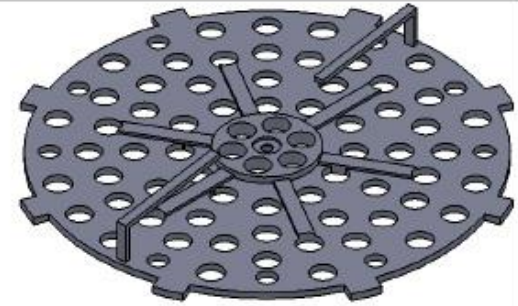
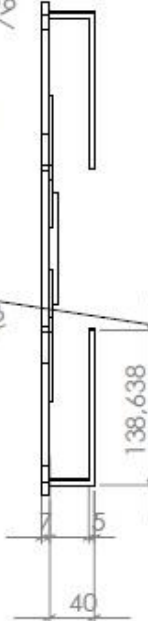
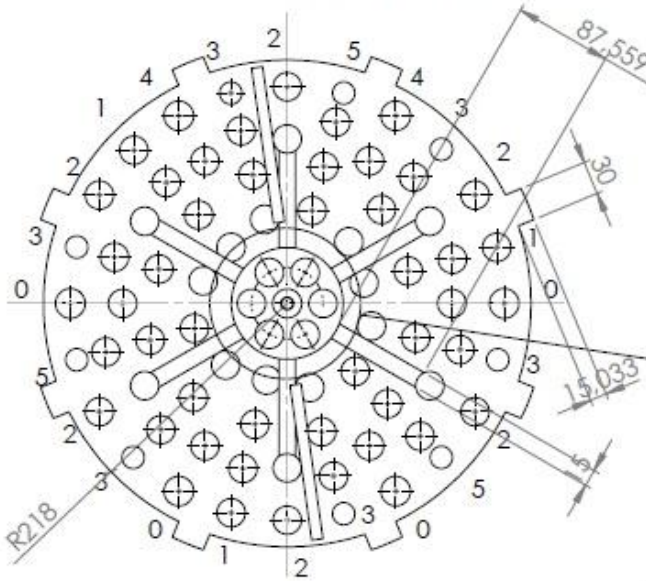
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEBITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		PLACA FONDO DEL MATERIAL	A4 PLANO NO. 09
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ			
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		ESCALA: 1:5	Unidades: mm
		HOJA 1 DE 1	



Elemento	Nombre
1	Tapa torisférica inferior
2	Brida tapa inferior
3	Falda tapa inferior
4	Cubierta cilíndrica inferior
5	Tubo desagüe
6	Tubería alimentación de vapor
7	Cubierta plana inferior
8	Distribuidor de vapor
9	Placa fondo del material

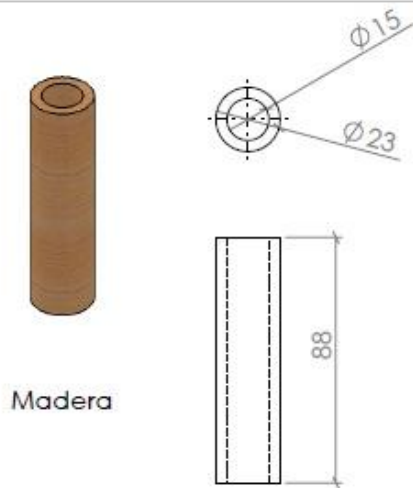
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACRILES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		TAPA INFERIOR	A4
DIBUJANTES ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ			PLANO NO. 3
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		ESCALA: 1:10	Unidades: mm
		HOJA 1 DE 1	

SIMBOLOGIA:
 D: distancia entre centros próximos
 Ø: diámetro del orificio en ese punto



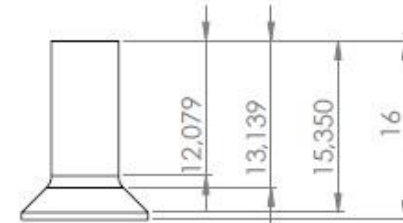
No.	Distribución
0	D:147,24 Ø:25,4 D:194 Ø:26,49
1	D:71 Ø:25,4 D:112 Ø:25,4 D:153 Ø:25,4 D:194 Ø:25,4
2	D:147,24 Ø:25,4 D:194 Ø:25,4
3	D:77,91 Ø:25,4 D:118,94 Ø:25,4 D:159,94 Ø:25,4 D:194,94 Ø:20
4	D:147,24 Ø:25,4 D:194 Ø:26,49
5	D:86 Ø:25,4 D:127 Ø:25,4 D:168 Ø:20 D:194,94

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCION DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACION EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACION			
DIBUJANTES ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ		FONDO PARA COMPACTAR	A4
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ	ESCALA: 1:5	Unidades: mm	PLANO NO. 4.1
			HOJA 1 DE 1

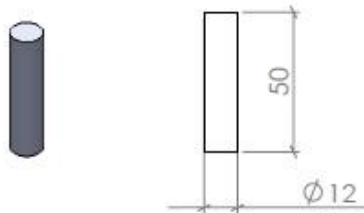


8

2

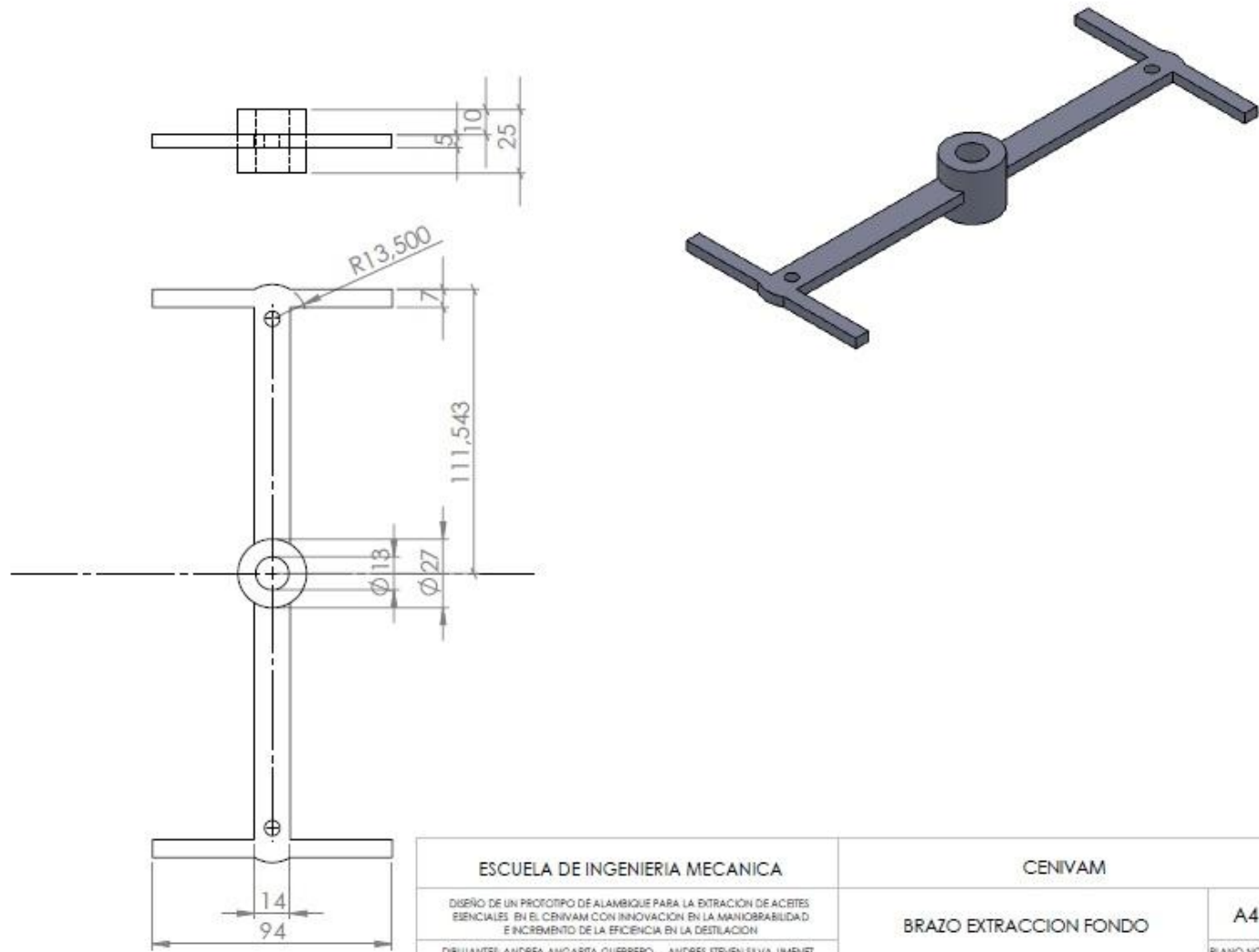


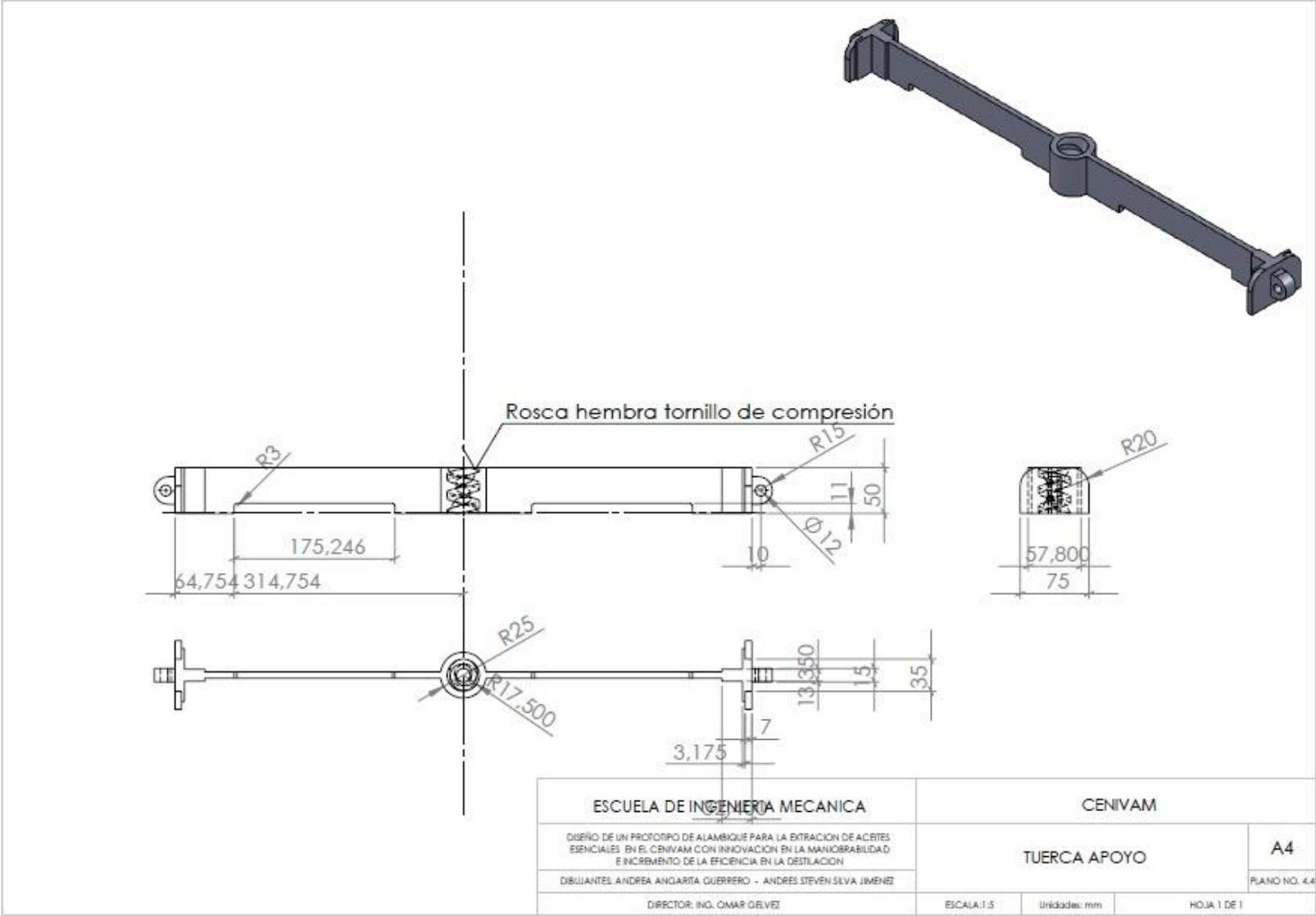
Tornillo para ajustar y apoyar a el rodamiento, cabeza avellanda; longitud total de rosca 12,7 mm

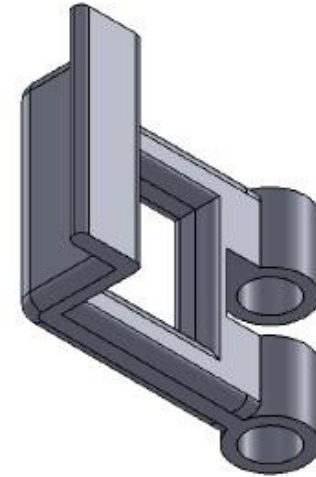
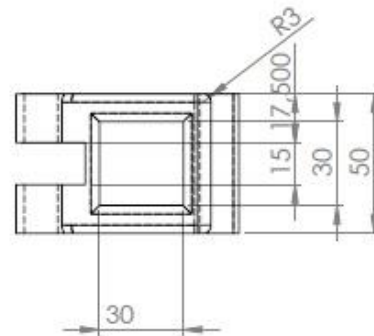
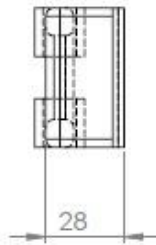
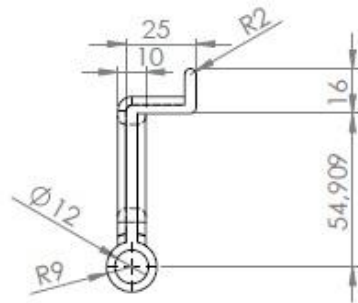


6

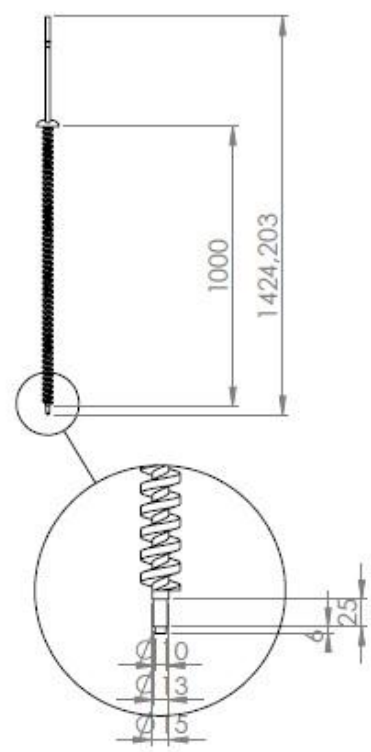
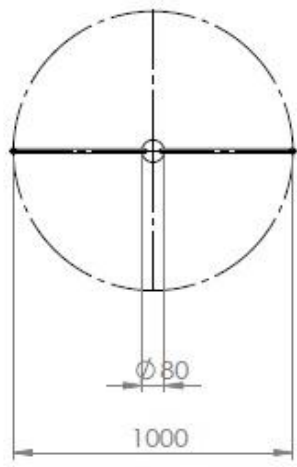
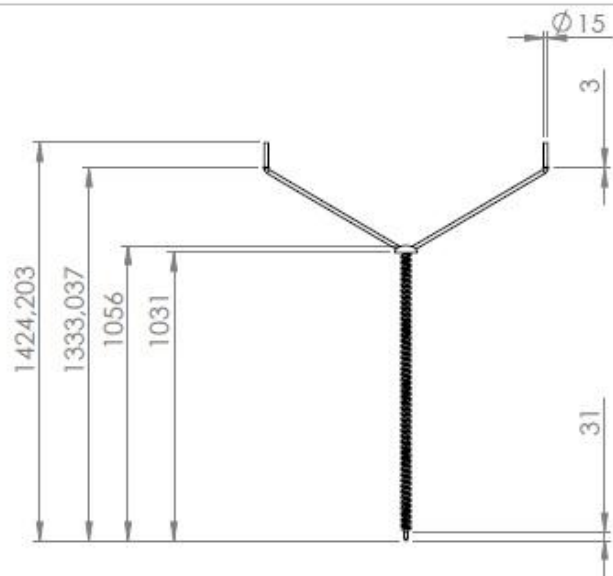
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACRITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		ACCESORIOS PRENSA	A4 FOLIO NO. 4.2, 4.4, 4.8
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ			
DIRECTOR: ING. OMAR OLVEZ	ESCALA: 1:1	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1







ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		BISAGRA DE AGARRE	A4
DIBUJANTES ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ			PLANO NO. 4.5
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1



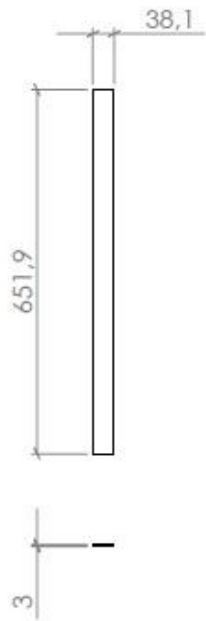
DETALLE A
ESCALA 1 : 5

ESPECIFICACIONES PARA EL TORNILLO	
MATERIAL	AISI 1020
TIPO DE ROSCA	ACME
D. RAÍZ	15
D. MEDIO	25
D. EXTERNO	35
ALTURA DIENTE	10
ANGULO DE AVANCE	14.29
PASO	20
BASE DEL DIENTE	12.6
NUMERO DE ENTRADAS	1

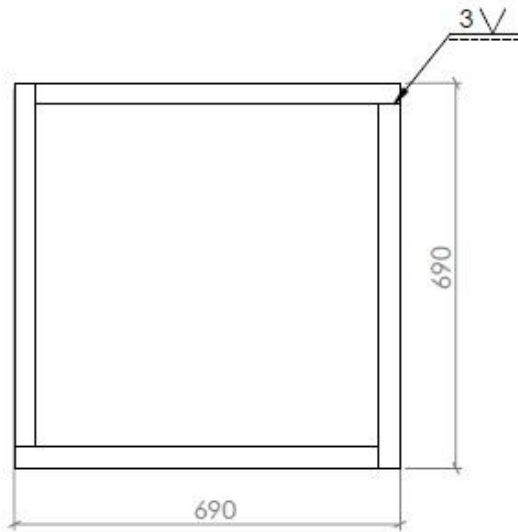
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACRITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		TORNILLO	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ			
DIRECTOR: ING. OMAR GÓMEZ	ESCALA: 1:20	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

No. pieza	Nombre pieza
1	Fondo para compactar
2	Tornillo apoyo rodamiento
3	Brazo fondo
4	Tuerca de apoyo
5	Bisagra de agarre
6	Pasador
7	Tornillo
8	Mangos agarre

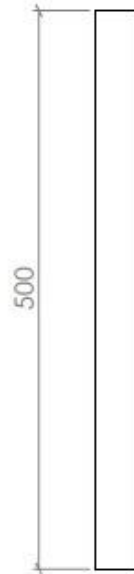
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		PRENSA	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ			PLANO NO. 4
DIRECTOR: ING. OMAR OELVEZ	ESCALA: 1:10	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1



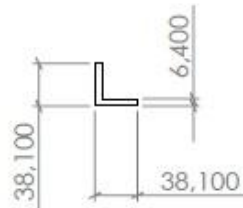
Nombre	Cantidad
Lámina base	4



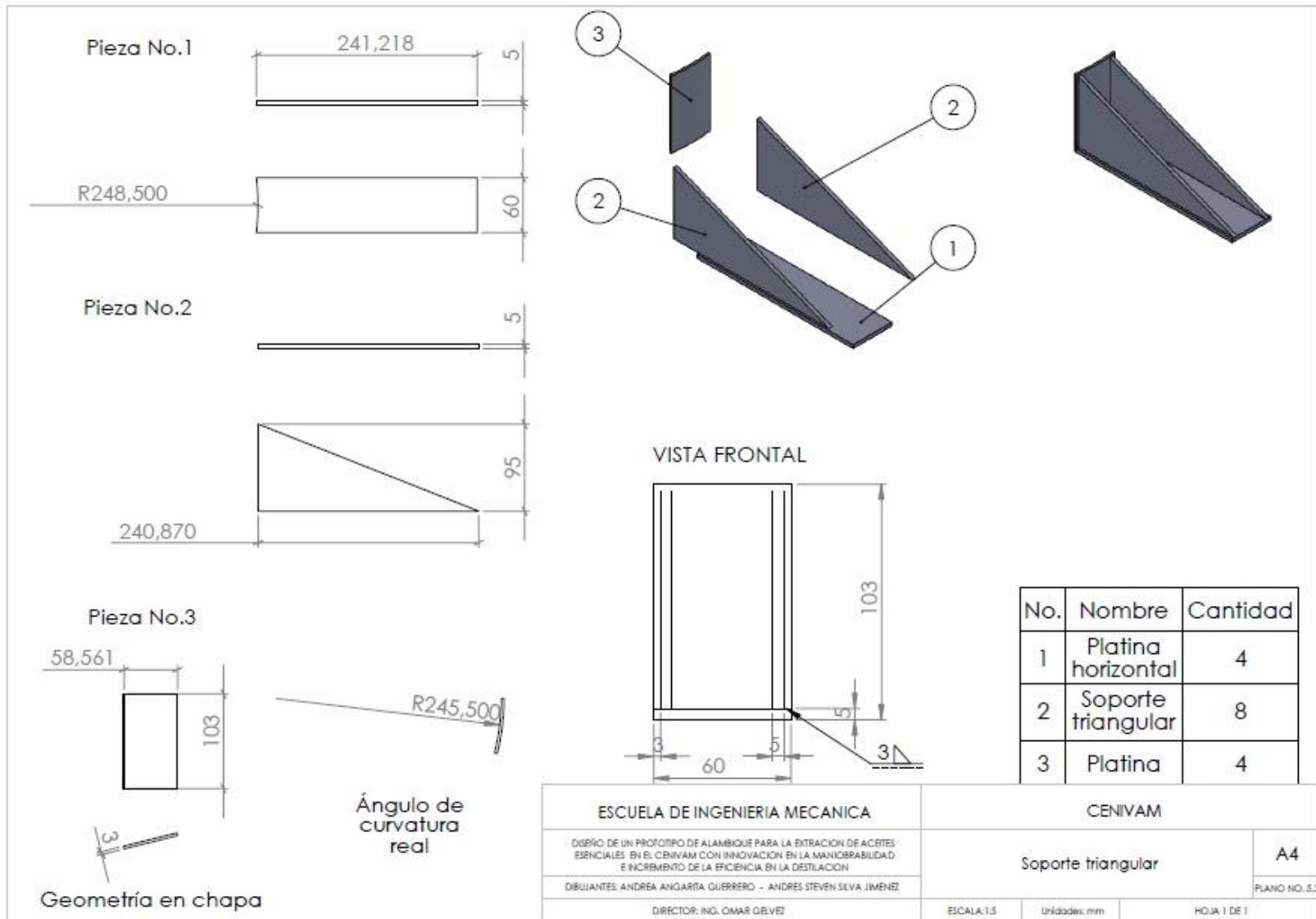
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEBITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		BASE	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARTIA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ			PLANO NO. 5.1
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ	ESCALA: 1:10	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1

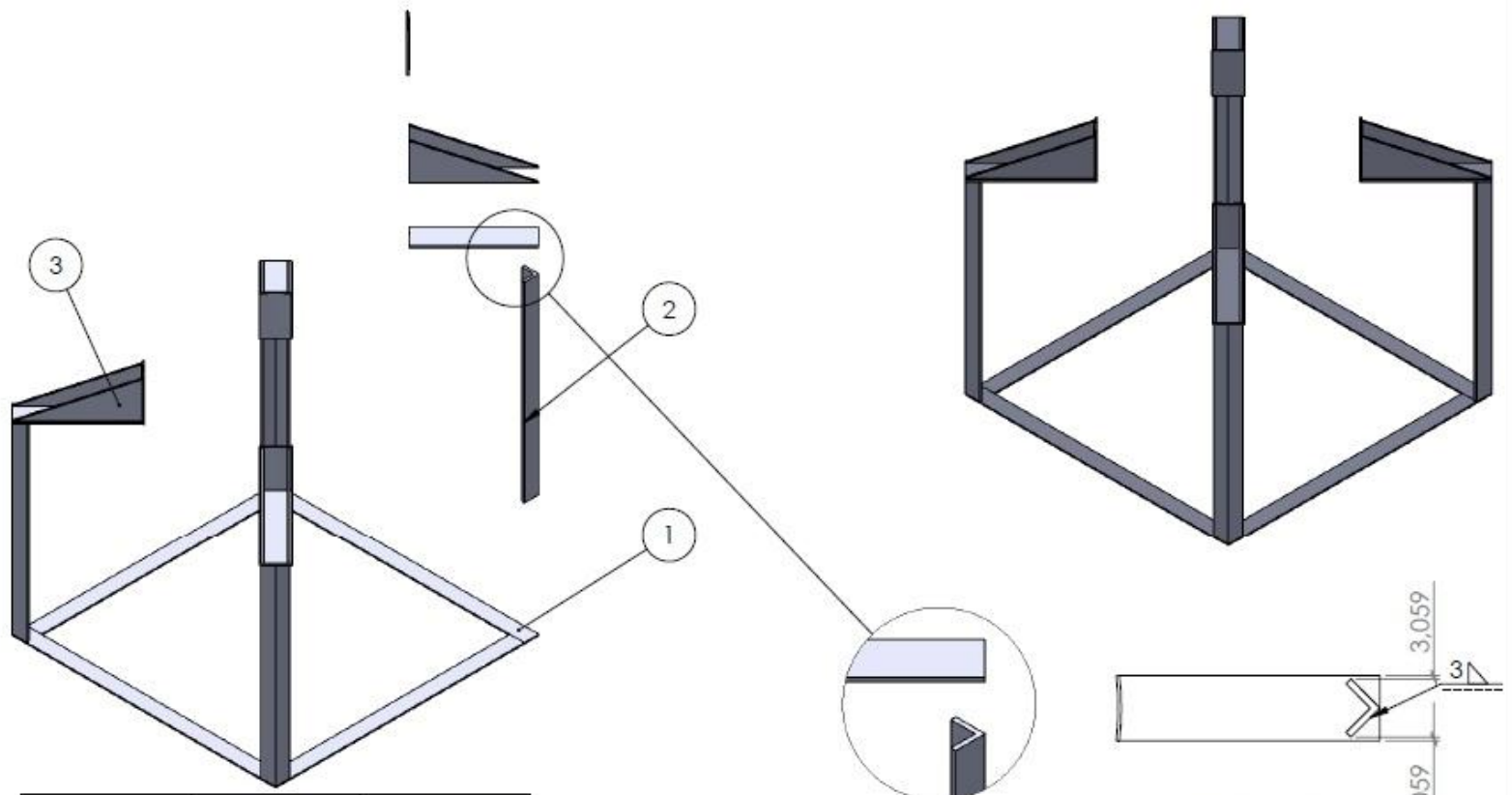


NOMBRE	CANTIDAD
SOPORTE	4



ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACRITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		COLUMNA	A4
DIBUJANTES ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ			PLANO NO. 52
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ	ESCALA: 1:5	Unidades: mm	HOJA 1 DE 1



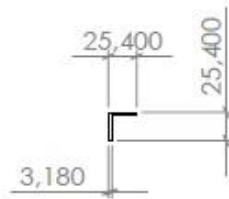


No.	Nombre	Cantidad
1	Base	1
2	Columna	4
3	Soporte triangular	4

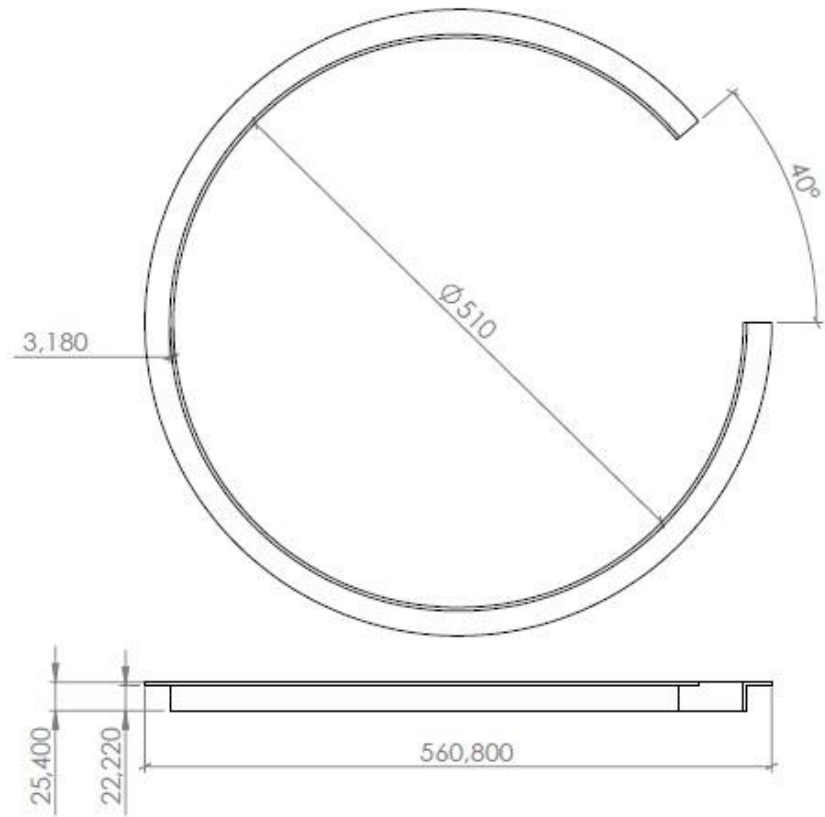
DETALLE A
ESCALA 1 : 5

DETALLE PEGUE PLATINA
HORIZONTAL - SOPORTE
ESCALA 1 : 5

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACRITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		SOPORTE	
DIBUJANTES ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ		PLANO NO. 5	
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1
		Unidades: mm	

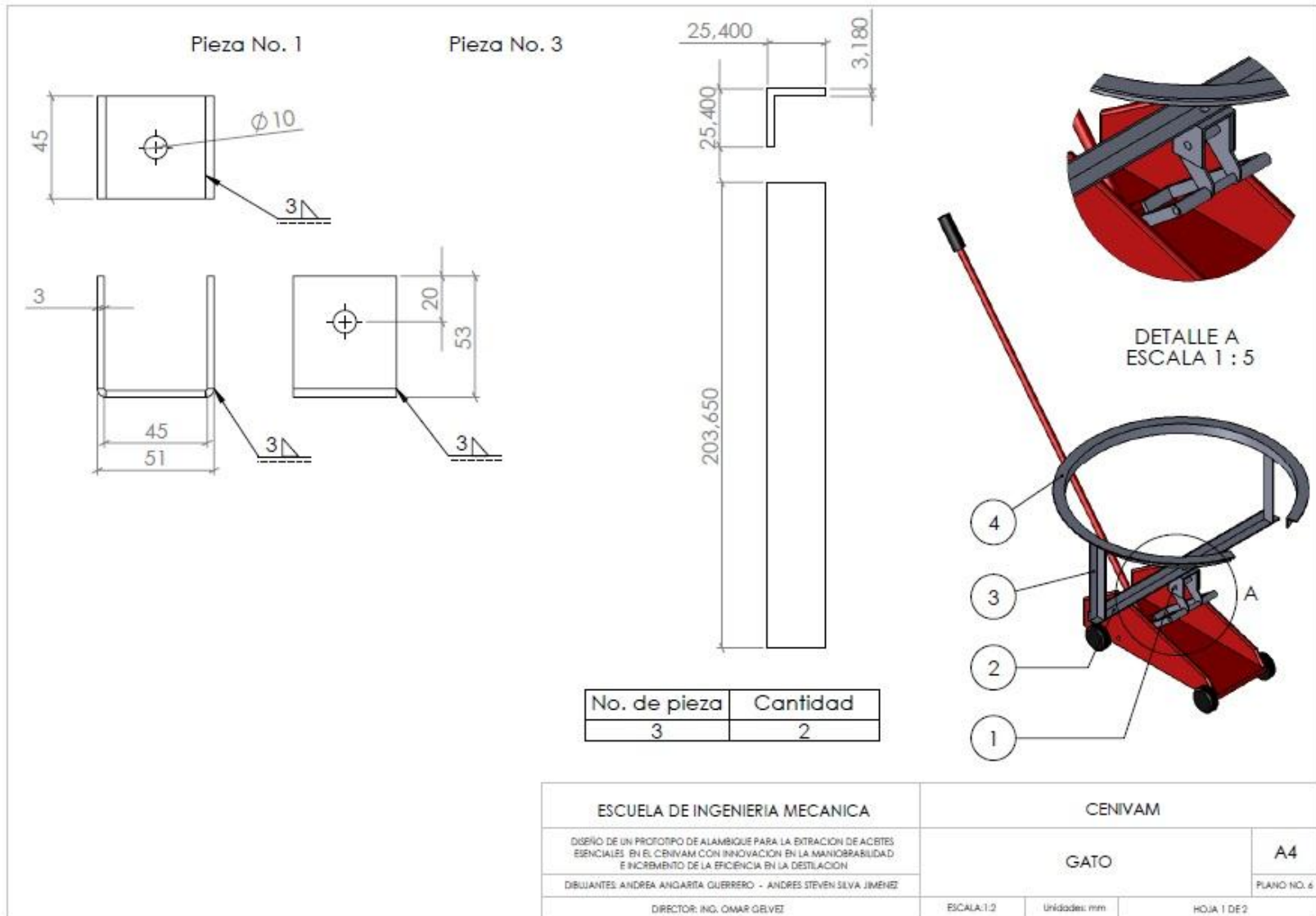


Pieza No. 2

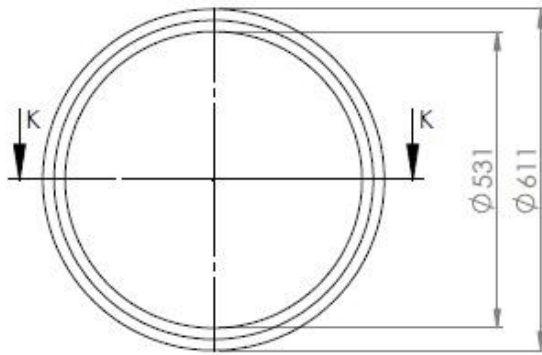


Pieza No. 4

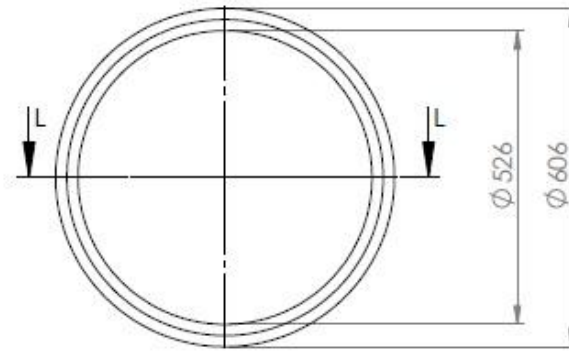
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		ANILLO SOPORTE Y BARRA SOPORTE	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ		ESCALA: 1:5	Unidades: mm
DIRECTOR: ING. OMAR OBEVEI		HOJA 1 DE 2	



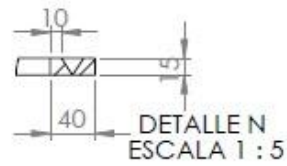
EMPAQUE SUPERIOR



EMPAQUE INFERIOR



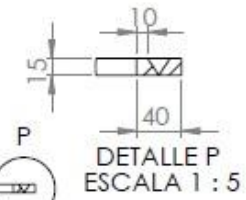
SECCIÓN K-K



DETALLE N
ESCALA 1 : 5

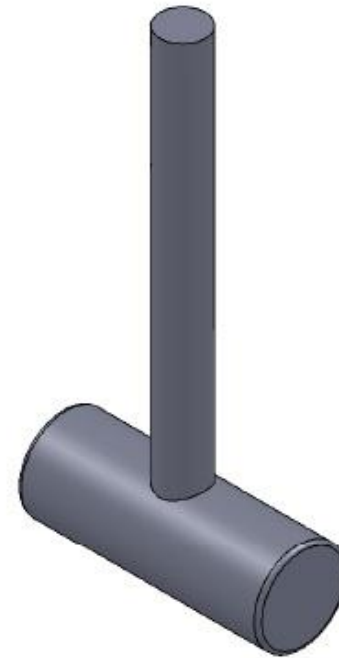
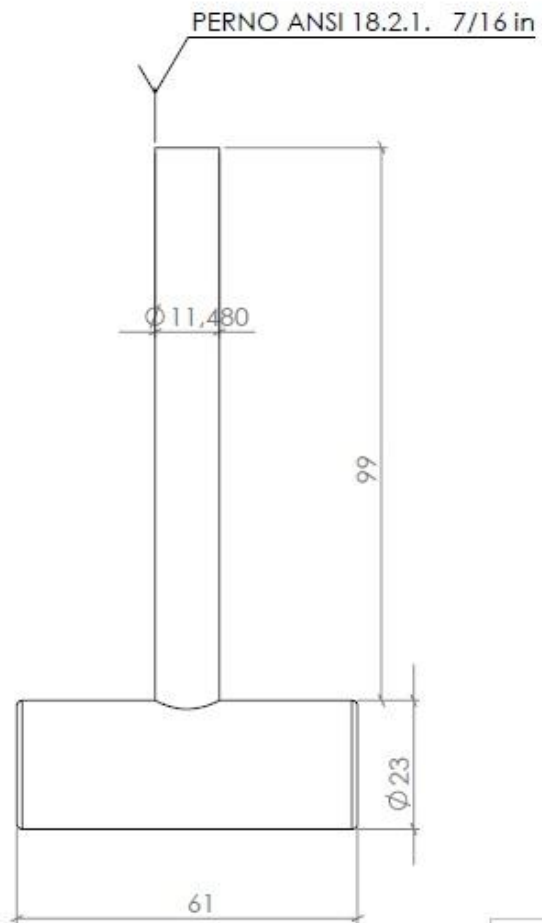


SECCIÓN L-L



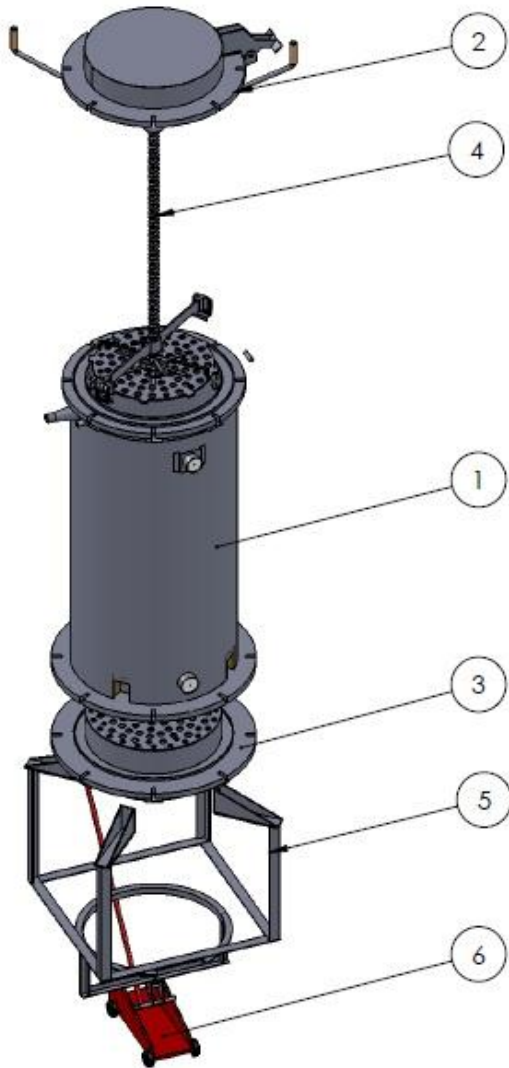
DETALLE P
ESCALA 1 : 5

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACRITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		EMPAQUES	
DIBUJANTES ANDREA ANGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ		A4	
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1
		Unidades: mm	



CANTIDAD	X16
----------	-----

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBIQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		PERNO	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGARTIA GUERRERO - ANDRES STEVEN SILVA JIMENEZ			PLANO NO. 8
DIRECTOR: ING. OMAR GELVEZ		ESCALA: 1:5	Unidades: mm
		HOJA 1 DE 1	



Elemento	Nombre
1	Cuerpo
2	Tapa superior
3	Tapa inferior
4	Prensa
5	Soporte
6	Gato

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CENIVAM	
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALAMBQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACETES ESSENCIALES EN EL CENIVAM CON INNOVACIÓN EN LA MANIOBRABILIDAD E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA DESTILACIÓN		EXPLOSIÓN GENERAL	A4
DIBUJANTES: ANDREA ANGGARITA GUERRERO - ANDRÉS STEVEN SILVA JIMÉNEZ			
DIRECTOR: ING. OMAR OLVEZ		ESCALA: 1:20	Unidades: mm
		HOJA 1 DE 1	

ANEXO G. MANUAL DE OPERACIÓN

Referirse al documento, mediante el siguiente HIPERVÍNCULO: [MANUAL DE OPERACIÓN](#)

Anexo G. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

Referirse al documento, mediante el siguiente Hiervínculo: [MANUAL DE FUNCIONAMIENTO](#)

Anexo H. REQUERIMIENTOS DE MATERIAL

Este proyecto contempla hasta el cálculo del requerimiento del material, para facilitar el trabajo de la persona que dirigirá la construcción.

En este anexo se exponen dos puntos:

1. Listado de las piezas requeridas con las dimensiones respectivas, apoyado de Excel.
 2. Requerimientos de cantidad de material (ver desde la Ilustración 36 hasta la Ilustración 47).
-
1. En la Ilustración 35 se muestra el listado de sub ensambles con las correspondientes piezas que los conforman; además se exponen las dimensiones básicas de cada una de las partes.

Ilustración 35. Hoja de cálculo para el listado de piezas

CANTIDAD DE MATERIAL ESTIMADA								
SUBENSAMBLE	PIEZAS	DESCRIPCION FORMA	CAN TIDA D	DIMENSIONES (PULGADAS)				
				LADO	LADO	DIAME TRO	AREA	ESPESOR
CUERPO	BRIDA SUPERIOR	Circunferencial área anular	1			25,75	2082,02	0,925
	BRIDA INFERIOR	Circunferencial área anular	1			28,8	2604,44	1,023
	ENVOLVENTE	Lamina extendida (chapa)	1	49,055	60,4		2962,92	0,0984
	AISLANTE	Lamina extendida (chapa)	1	67	45,87		3073,29	2
	CUBIERTA	Lamina extendida (chapa)	1	73,72	45,48		3352,79	0,0394
	DISTRIBUIDOR DE PRESION 1	Circunferencial área anular	2			22,165	1542,64	0,0984
	DISTRIBUIDOR DE PRESION	Lamina extendida (chapa)	1	2,559	69,924		178,94	0,0984
	MEDIA BISAGRA INFERIOR	lamina	1	11,5	11,063		127,22	0,197
	BOQUILLA DE SALIDA	lamina	1	7,06	102,23		721,74	0,0984

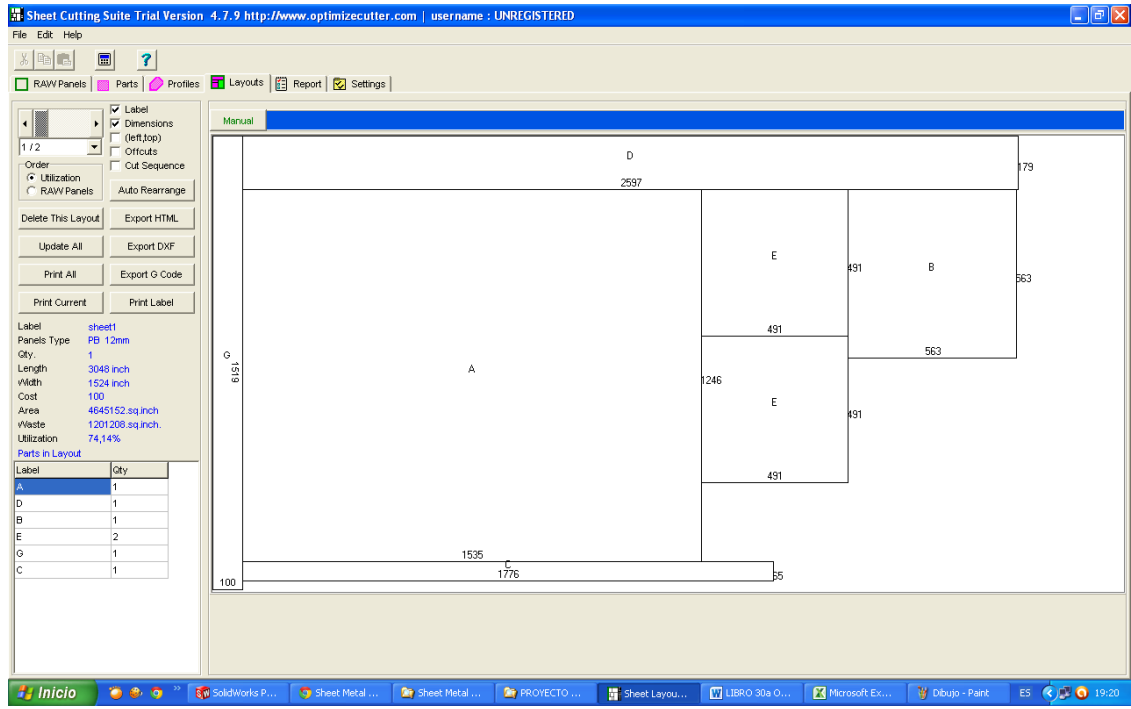
TAPA SUPERIOR	TAPA TORIESFERICA	lamina	1			19,33	1173,26	0,0984
	AISLAMIENTO	lamina	1			19,33	1173,26	1
	BRIDA	Circunferencial área anular	1			25,75	2082,02	0,925
	MEDIA BISAGRA SUPERIOR	lamina	1	5,02	4,082		20,49	0,197
	CUBIERTA PLANA	lamina	1			19,41	1182,99	0,0394
	CUBIERTA CILINDRICA	Lamina extendida (chapa)	1	61,1	3,58		218,74	0,0394
TAPA INFERIOR	TAPA TORIESFERICA	lamina	1			19,13	1149,10	0,0984
	FALDA	Lamina extendida (chapa)	1	60,11	3,94		236,83	0,0984
	BRIDA	lamina	1			28,8	2604,44	1,023
	CUBIERTA PLANA	lamina	1			19,37	1178,12	0,0394
	CUBIERTA CILINDRICA	Lamina extendida (chapa)	1	59,78	3,94		235,53	0,0984
	AISLAMIENTO	lamina	1			19,37	1178,12	1
	PLACA DEL FONDO	lamina	1			19,13	1149,10	0,276
	TUBERIA	2 codos 90 grados, SERIE 150, rosca bspt astm A351 AISI 304 3/4"; 249 mm de tubo AISI 304 de 3/4"						

PRENSA	TUERCA	cuerpo tuerca	1		1,97	1,97	12,19	
		barras laterales (tomar con una barra larga)	1	22,03	1,97		43,40	0,276
		angulos de apoyo PERFIL L: 25,4 X 3,18	1	15,75				
		orejas	1	1,77	1,18		2,09	0,59
		barras de soporte	1	5,91	1,97		11,64	0,276
	TORNILLO	brazos	1		60,3	0,59	1,09	
		cuerpo tornillo	1		39,37	1,5	7,07	
	RODAMIENTO	SNR 6000ZZ dint: 10 mm; dext: 26 mm; e:8 mm; carga dinamica: 5,6 KN; carga estatica: 1,97 KN	1					
	MANIJAS	madera - anular	1		6,93	0,9055	2,57	
	PLACA COMPACTADORA	L para sacar del fondo	1	14,17	0,39		5,53	0,197
		laminas de resistencia	1	20,7	0,59			0,118
		circulo central	1			3,94	48,74	0,276
		lamina	1			17,17	925,70	0,276
	GANCHO	argollas	1		2,8	0,71	1,58	
		lamina doblada	1	6,5	1,97		12,81	0,394
	BRAZO PARA SACAR DEL FONDO	cilindro centro	1		0,984	1,063	3,55	
		barras laterales	1	7,32	0,55		4,03	0,197
		barras de apoyo	1	7,4	0,28		2,07	0,197
	PASADORES	del gancho	1		3,94	0,47	0,69	

SOPORTE	PATAS	perfil L: 25,4 x 3,18	1	78,74				
	BASE PLANA	4 laminas, para un total de:	1	102,66	1,5		153,99	0,118
	TRIANGULOS SOPORTE	lamina larga para cortar	1	37,93	3,74		141,86	0,197
	PLACA HORIZONTAL	lamina larga para cortar	1	37,99	2,36		89,66	0,197
	PLACA EN ARCO	lamina larga para cortar	1	16,22	2,36		38,28	0,118
PERNOS	Perno ANSI 18.2.1 - 7/16" y 99 mm de largo		16					
GATO MECANICO	Auto Style Gato zorra 1,5 toneladas caja pvc, Autostyle		1					
SOPORTE GATO	anillo soporte	aro: perfil L: 25,4 x 3,18	1	63,1				
		perfil vertical total L: 25,4 x 3,18	1	16,04				
		perfil horizontal total L: 25,4 x 3,18	1	22,34				
	union	lamina de union	1	5,87	1,77		10,39	0,118
	pasador	1	2		0,394	0,49		

2. A continuación (desde la Ilustración 37 hasta la Ilustración 47) se muestra cada tipo de material utilizado y la cantidad requerida, optimizando dichos recursos gracias al programa *Sheet Cutting Suite 4.7.9* (ver Ilustración 36) disponible en la web.

Ilustración 36. Vista general del software Sheet Cutting Suite

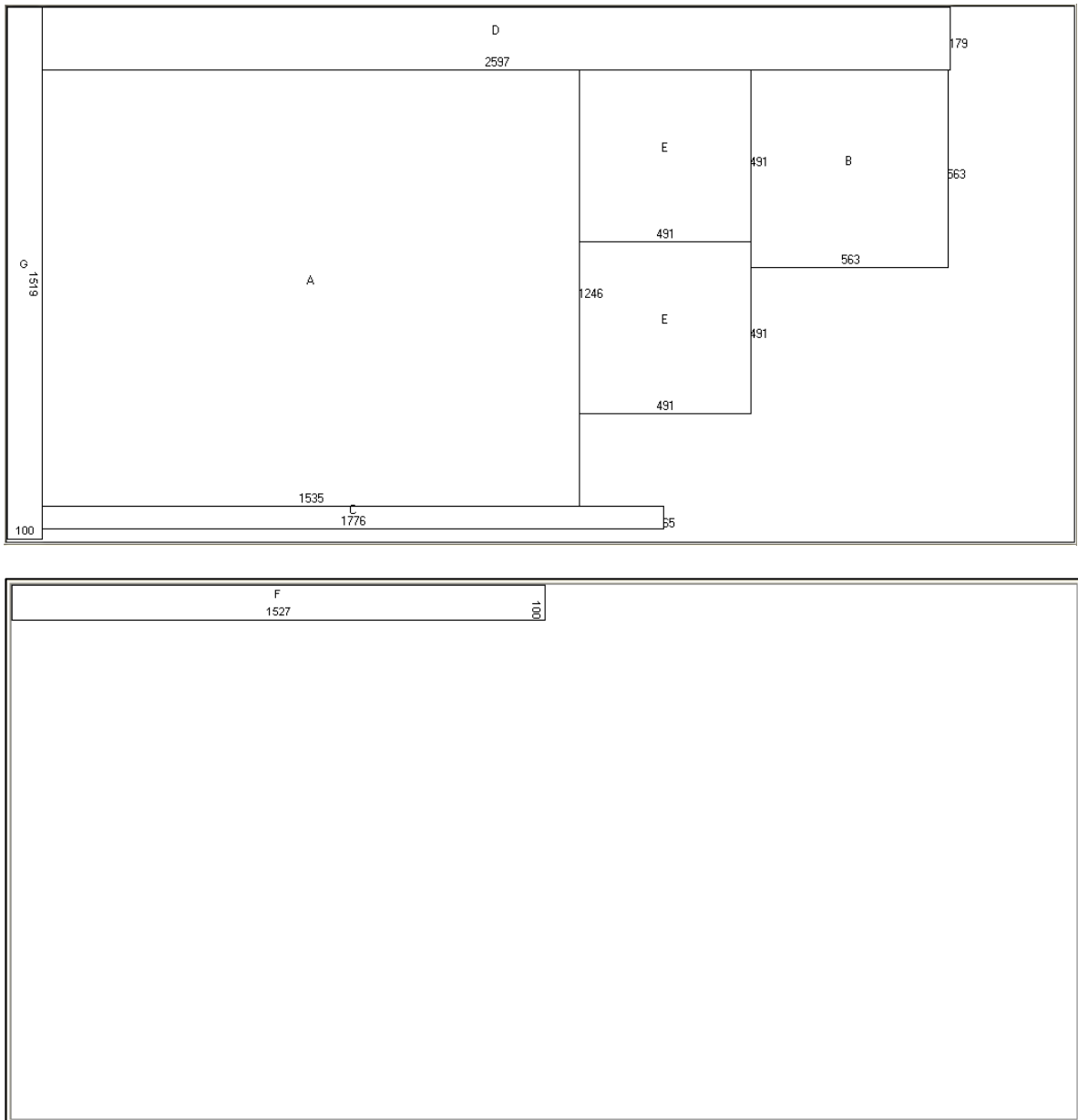


- Piezas elaboradas en lámina de 2,5 [mm] de espesor. Cantidad: 2 láminas, cada una de 3048 x 1524 [mm²]

Ilustración 37. Listado de piezas elaboradas en esta lámina

Label	Panels Ty	Length	Width	Rotate	Qty	Max Qty	Rec/Cir	BG Type	Comment
A	PB 12mm	1535	1246	R	1	1	R		Comment A
B	PB 12mm	563	563	R	1	1	R		Comment B
C	PB 12mm	1776	65	R	1	1	R		Comment C
D	PB 12mm	2597	179	R	1	1	R		Comment D
E	PB 12mm	491	491	R	2	2	R		Comment E
F	PB 12mm	100	1527	R	1	1	R		Comment F
G	PB 12mm	100	1519	R	1	1	R		Comment G

Ilustración 38. Dos láminas de 2,5 [mm] de espesor

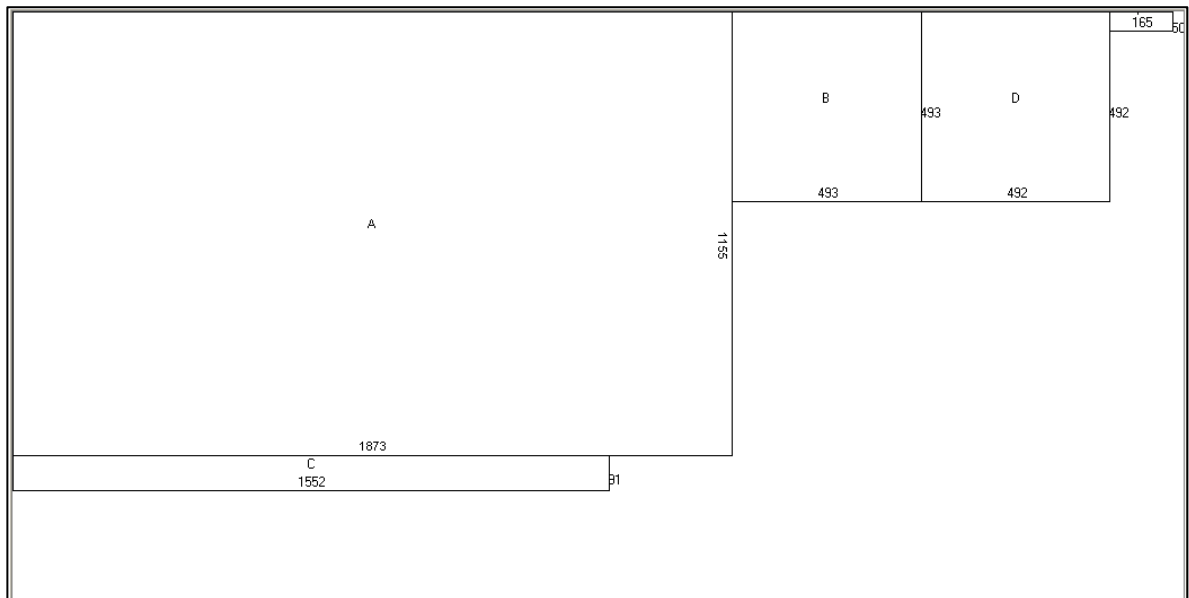


- Piezas elaboradas en lámina de 1 [mm] de espesor. Cantidad: 1 lámina, cada una de 3048 x 1524 [mm²]

Ilustración 39. Listado de piezas elaboradas en esta lámina

Label	Panels Ty	Length	Width	Rotate	Qty	Max Qty	Rec/Cir	BG Type	Comment
A		1155	1873	R	1	1	R		
B		493	493	R	1	1	R		
C		91	1552	R	1	1	R		
D		492	492	R	1	1	R		
E		50	165	R	1	1	R		

Ilustración 40. Una lámina de 1 [mm] de espesor

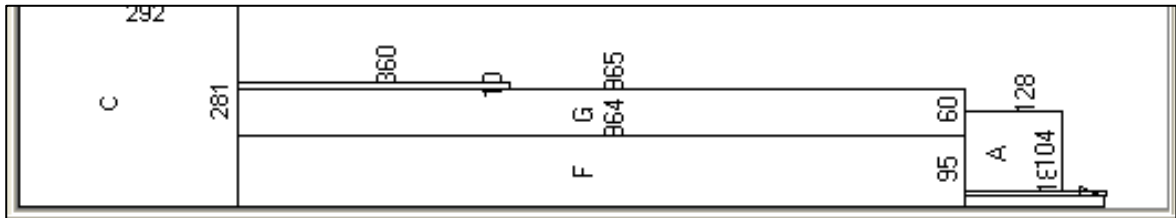


- Piezas elaboradas en lámina de 5 [mm] de espesor. Cantidad: 1 lámina, cada una de 3048 x 1524 [mm²]

Ilustración 41. Listado de piezas elaboradas en esta lámina

Label	Panels Ty	Length	Width	Rotate	Qty	Max Qty	Rec/Cir	BG Type	Comment
C		281	292	R	1	1	R		
A		128	104	R	1	1	R		
B		360	10	R	1	1	R		
D		186	14	R	1	1	R		
E		188	7	R	1	1	R		
F		964	95	R	1	1	R		
G		965	60	R	1	1	R		

Ilustración 42. Una lámina de 5 [mm] de espesor

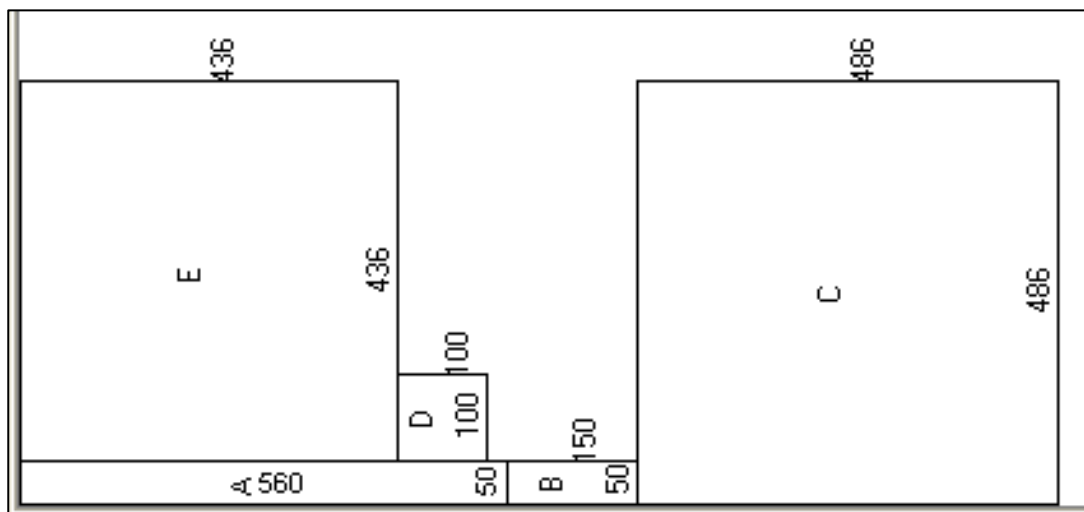


- Piezas elaboradas en lámina de 7 [mm] de espesor. Cantidad: 1 lámina, cada una de 3048 x 1524 [mm²]

Ilustración 43. Listado de piezas elaboradas en esta lámina

Label	Panels Ty	Length	Width	Rotate	Qty	Max Qty	Rec/Cir	BG Type	Comment
C		486	486	R	1	1	R		
A		50	560	R	1	1	R		
B		50	150	R	1	1	R		
D		100	100	R	1	1	R		
E		436	436	R	1	1	R		

Ilustración 44. Una lámina de 7 [mm] de espesor



- Piezas elaboradas en lámina de 3 [mm] de espesor. Cantidad: 1 lámina, cada una de 3048 x 1524 [mm²]

Ilustración 45. Listado de piezas elaboradas en esta lámina

Label	Panels Ty	Length	Width	Rotate	Qty	Max Qty	Rec/Cir	BG Type	Comment
C		45	15	R	1	1	R		
A		526	15	R	1	1	R		
B		149	45	R	1	1	R		
D		2608	38	R	1	1	R		
E		412	60	R	1	1	R		

Ilustración 46. Una lámina de 3 [mm] de espesor

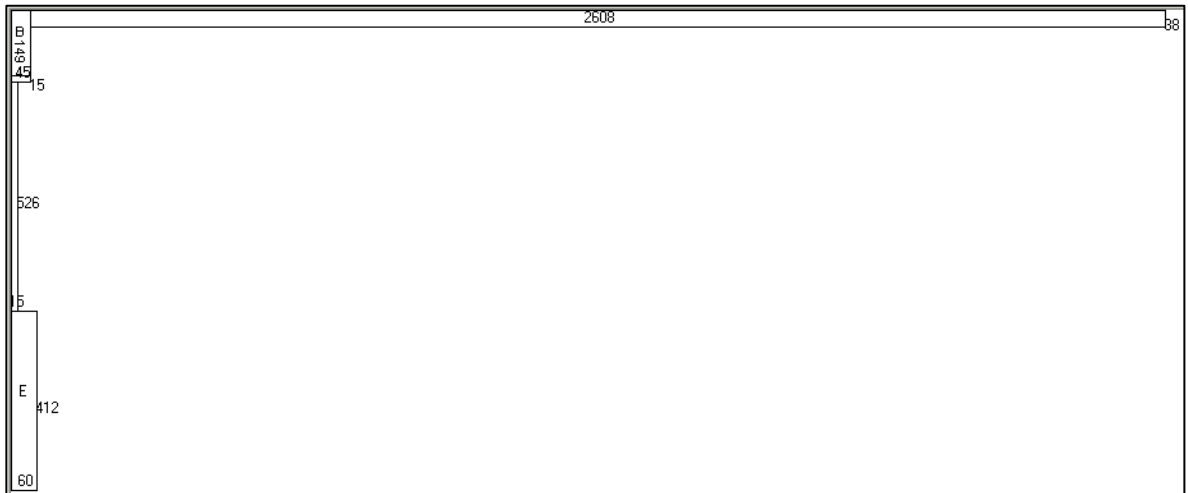


Ilustración 47. Otras barras y perfiles

FORMA	DIMENSIONES DE SECCION	LONGITUD (unidades varias)
CIRCULAR	50 [mm] de diámetro	50 [mm]
PERFIL EN L	25,4 [mm] x 25,4[mm] / 3,18 [mm] de espesor	4,98 [m]
CIRCULAR	15 [mm] de diámetro	1532 [mm]
CIRCULAR	38,1 [mm] de diámetro	1 [m]
CIRCULAR	18 [mm] de diámetro	72 [mm]
CIRCULAR	27 [mm] de diámetro	25 [mm]
CIRCULAR	12 [mm] de diámetro	100 [mm]
CIRCULAR	10 [mm] de diámetro	50,8 [mm]

