



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**  
**INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE ACEITES ESENCIALES PARA LA EMPRESA SAVEWATER UBICADA EN LA CIUDAD LATACUNGA”**

---

**AUTORES:** Jonathan Fabricio Moreano Panchi

Henry Fabricio Tenorio Cabezas

**TUTOR:** Ing. Mg. Oscar Iván Analuiza Maiza

**AMBATO – ECUADOR**

**Septiembre – 2022**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE ACEITES ESENCIALES PARA LA EMPRESA SAVEWATER UBICADA EN LA CIUDAD LATACUNGA”**, elaborado por el Sr. Jonathan Fabricio Moreano Panchi portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 0503697617 y el Sr. Henry Fabricio Tenorio Cabezas portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804711727, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico que:

- El presente proyecto técnico es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2022

-----  
**Ing. Mg. Oscar Iván Analuiza Maiza**  
**TUTOR**

## AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, Jonathan Fabricio Moreano Panchi, con C.I. 0503697617 y Henry Fabricio Tenorio Cabezas, con C.I. 1804711727, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE ACEITES ESENCIALES PARA LA EMPRESA SAVEWATER UBICADA EN LA CIUDAD LATACUNGA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2022



---

**Jonathan Fabricio Moreano Panchi**  
**C.I. 0503697617**  
**AUTOR**



---

**Henry Fabricio Tenorio Cabezas**  
**C.I. 1804711727**  
**AUTOR**

## DEECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los Derechos en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando los derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2022



---

**Jonathan Fabricio Moreano Panchi**  
**C.I. 0503697617**  
**AUTOR**



---

**Henry Fabricio Tenorio Cabezas**  
**C.I. 1804711727**  
**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Jonathan Fabricio Moreano Panchi y Henry Fabricio Tenorio Cabezas, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE ACEITES ESENCIALES PARA LA EMPRESA SAVEWATER UBICADA EN LA CIUDAD LATACUNGA”**.

Ambato, Septiembre 2022

Para constancia firman:

-----  
**Ing. Mg. César Hernán Arroba Arroba**  
**Miembro Calificador**

-----  
**Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacis**  
**Miembro Calificador**

## AGRADECIMIENTO

*Empiezo por agradecer a Dios por permitirme llegar hasta este punto de mi etapa estudiantil, que no ha abandonado a pesar de las circunstancias.*

*A mi madre que ha confiado en mí desde el momento uno del inicio de esta travesía junto a mi abuela y hermana quienes son parte fundamental en mi vida. A July por creer en mí, sus consejos y motivaciones que me han servido tanto; ahora finalmente escribo estas líneas que no solo son de agradecimiento por su inmenso apoyo sino también es una dedicatoria para ellas que me han impulsado a no rendirme.*

*Como no agradecer también a la Universidad Técnica de Ambato que hizo todo esto posible junto con la Facultad de ingeniería Civil y Mecánica, un profundo agradecimiento al Ing. Oscar Analuiza. Mg, que no dudo en extenderlos la mano para colaborar con el desarrollo de este trabajo y, a Jonathan mi compañero y amigo con quien fue un honor colaborar para cumplir esta meta.*

*Para terminar, a todas aquellas personas que formaron parte de esta odiosa en mi quería universidad se los agradezco, su compañerismo, su entusiasmo; los llevaré por siempre en mi memoria.*

**HENRY**

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mis padres por darme la oportunidad de tener una educación universitaria, a mis profesores que durante toda la carrera siempre estuvieron dispuestos a compartir sus conocimientos y experiencia, a mis compañeros de facultad que se volvieron amigos de por vida y que de una u otra manera siempre brindaron su ayuda y agradezco a Henry mi compañero de tesis, fue un gusto compartir esta experiencia contigo, sin tu ayuda esto no hubiera sido posible. De manera especial agradezco a la empresa SaveWater por la oportunidad de demostrar mis conocimientos al realizar la tesis en sus instalaciones.*

*Por último, quiero dedicar esta tesis a la memoria de mi gran amigo Lino Velazco. Te fuiste demasiado pronto y espero que desde donde quiera que estés puedas verme y sentirte orgulloso de mí, así como yo lo estaba de ti.*

*-Jonathan Moreano*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DEECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
NOMENCLATURA .....	xviii
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT .....	xxiii
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO .....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Antecedentes investigativos .....	1
1.3 Investigaciones previas .....	2
1.4 Contextualización del problema.....	4
1.5 Códigos de referencia.....	5
1.6 Objetivos .....	5
1.6.1 Objetivo general .....	5
1.6.2 Objetivos específicos .....	5
1.7 Fundamentación teórica .....	5
1.7.1 Diseño mecánico .....	5
1.7.2 Termodinámica .....	6
1.7.3 Intercambiador de calor.....	7
1.7.4 Convección.....	9
1.7.5 Conducción .....	10
1.7.6 Ebullición estacionaria .....	11
1.7.7 Ecuación de la energía .....	12
1.7.8 Maquinas destiladoras .....	13
1.7.9 Métodos de extracción .....	14
1.7.9.1 Obtención directa .....	14



1.7.9.2 Destilación.....	14
1.7.10 Fluidos.....	19
1.7.11 Viscosidad.....	19
1.7.12 Aceite esencial.....	19
1.7.12.1 Aplicaciones de AE.....	22
1.7.13 Quemadores.....	23
1.7.14 Combustible.....	26
1.7.14.1 Gas licuado del petróleo (GLP).....	26
1.7.15 Código ASME sección VIII.....	27
1.7.15 SaveWater.....	36
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	38
2.1 Materiales.....	38
2.1.1 Acero inoxidable.....	38
2.1.2 Acero estructural.....	39
2.2 Equipos.....	39
2.2.1 Soldadura GMAW.....	39
2.2.2 Soldadura GTAW.....	40
2.2.3 Varoladora.....	40
2.2.4 Manómetro.....	41
2.2.5 Termómetro.....	42
2.2.6 Remachadora.....	42
2.2.7 Torquímetro.....	42
2.2.8 Balanza industrial.....	43
2.2.9 Quemador industrial.....	44
2.2.10 Embudo separador.....	44
2.3 Métodos.....	45
2.3.1 Método científico.....	46
2.3.2 Método cuantitativo.....	46
2.3.3 Método bibliográfico.....	46
2.3.4 Método selección de alternativa.....	46
2.4 Diagrama de flujo para los procesos.....	47
2.5 Parámetros de diseño.....	50

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
3.1 Análisis y discusión de resultados .....	51
3.2 Selección de alternativas .....	51
3.2.1 Decisión .....	57
3.3 Material vegetal.....	57
3.3 Diseño mecánico .....	59
3.3.1 Recipiente cilíndrico .....	59
3.3.1.1 Espesor para la pared del cuerpo.....	61
3.3.1.2 Factor de seguridad .....	62
3.3.1.3 Espesor para el fondo del cilindro.....	64
3.3.1.4 Dimensionamiento del fondo del cilindro.....	64
3.3.1.5 Espesor del fondo del cilindro.....	65
3.3.1.6 Simulación del cilindro .....	66
3.3.1.6.1 Análisis por Von Mises.....	66
3.3.1.6.2 Análisis por factor de seguridad.....	68
3.3.2 Tapa cónica .....	68
3.3.2.1 Simulación de la tapa cónica.....	69
3.3.3 Simulación del tanque completo .....	70
3.3.4 Diseño de la argolla de sujeción (brida).....	72
3.3.4.1 Esfuerzo tangencial, radial y longitudinal.....	74
3.3.5 Selección de pernos de sujeción entre la tapa y el cilindro.....	75
3.3.6 Diseño de la estructura de soporte .....	80
3.4 Diseño térmico .....	83
3.4.1 Flujo másico teórico.....	83
3.4.2 Diseño condensador .....	87
3.4.2.1 Diseño del serpentín Parte I .....	88
3.4.2.2 Calor del proceso.....	91
3.4.2.3 Flujo másico del refrigerante .....	93
3.4.2.4 Cálculos para el fluido caliente .....	94
3.4.2.5 Cálculos para el fluido frío.....	96
3.4.2.6 Coeficiente global de transferencia de calor .....	98
3.4.2.7 Fase de condensación.....	98
3.4.2.8 Fase de enfriamiento .....	100
3.4.2.9 Diseño serpentín parte II .....	101
3.4.2.10 Cantidad de energía necesaria.....	104

3.4.2.11 Perdidas de calor .....	106
3.4.2.12 Fuente de energía .....	112
3.4.2.13 Diseño de tapa agujerada .....	114
3.5 Diseño de juntas soldadas .....	116
3.5.1 Junta para el cuerpo del cilindro .....	116
3.5.2 Junta para unión entre cabeza y cuerpo del cilindro .....	116
3.5.3 Junta para la brida .....	117
3.6 Accesorios .....	117
3.6.1 Perdidas por accesorios .....	119
3.7 Selección de bomba.....	124
3.8 Modelado 3D.....	127
3.9 Boceto .....	131
3.10 Construcción .....	132
3.9.1 Equipo contenedor .....	132
3.9.2 Equipo condensador .....	136
3.9.3 Tubería/accesorios.....	139
3.9.4 Estructuras metálicas.....	142
3.9.5 Ensamble total.....	143
3.10 Prueba hidrostática .....	146
3.10.1 Procedimiento .....	146
3.11 Puesta en marcha.....	149
3.12 Resultados .....	155
3.12.1 Registro de datos .....	158
3.12.2 Eficiencia del proceso .....	161
3.12.3 Análisis de calidad .....	162
3.12.4 Nuestro aceite.....	163
3.13 Costos.....	164
3.13.1 Materiales y accesorios .....	165
3.13.2 Equipos y recursos .....	166
3.13.3 Costo total .....	167
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	168
4.1 Conclusiones .....	168
4.2 Recomendaciones.....	170
BIBLIOGRAFÍA .....	171

GLOSARIO .....	175
ANEXOS .....	178
PLANOS .....	211

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Etapas del proceso de diseño .....	6
Figura 2 Presencia de la termodinámica en diferentes campos .....	7
Figura 3 Alineación en banco de tubos .....	8
Figura 4 Configuración de flujo. (a) Paralelo. (b) Contraflujo .....	8
Figura 5 Intercambiador compacto .....	9
Figura 6 Valores de $h$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) .....	10
Figura 7 Regímenes de ebullición.....	11
Figura 8 Curva de ebullición del agua a 1 atm.....	12
Figura 9 Maquina destiladora .....	13
Figura 10 Esquema del proceso de destilación .....	15
Figura 11 Esquema destilación por arrastre con vapor .....	16
Figura 12 Diagrama de hidro destilador.....	18
Figura 13 Eucalipto .....	20
Figura 14 Romero .....	21
Figura 15 Menta .....	22
Figura 16 Atmosférico de rampa lineal.....	24
Figura 17 Quemador de rampa geométrica. (a) Hexagonal y (b) Octagonal .....	24
Figura 18 Atmosférico circular .....	25
Figura 19 Aire forzado industrial .....	25
Figura 20 Normas complementarias para accesorios.....	27
Figura 21 Normas complementarias para pernos.....	28
Figura 22 Normas complementarias para tuberías.....	28
Figura 23 Sección transversal para cabezas hemisféricas.....	29
Figura 24 Sección transversal para cabezas elipsoidal .....	29
Figura 25 Sección transversal para cabezas toriesférica .....	29
Figura 26 Sección transversal para cabezas cónicas .....	30
Figura 27 Sección transversal para tipos de juntas a tope.....	31
Figura 28 Símbolos básicos de soldadura .....	31
Figura 29 Símbolo de soldar y localización estándar de sus elementos .....	32
Figura 30 Ubicación de juntas soldadas.....	32
Figura 31 Cabezas unidas al cuerpo.....	35

Figura 32 Logo ingeniería SaveWater .....	37
Figura 33 Planchas de acero inoxidable.....	38
Figura 34. Soldadora eléctrica.....	40
Figura 35 Equipo GTAW.....	40
Figura 36 Varoladora .....	41
Figura 37 Manómetro.....	41
Figura 38 Termómetro .....	42
Figura 39. Remachadora. ....	42
Figura 40 Torquímetro .....	43
Figura 41 Balanza industrial .....	43
Figura 42 Quemador industrial .....	44
Figura 43 Embudo separador .....	44
Figura 44 Diagrama de procesos para la fase de diseño .....	48
Figura 45 Diagrama de procesos para la fase de construcción .....	49
Figura 46 Cuerpo del recipiente.....	61
Figura 47 Detalles dimensionales de la cabeza toriesférica.....	64
Figura 48 Dimensionamiento del fondo del cilindro .....	65
Figura 49. Fondo del cilindro.....	66
Figura 50 Valor Von Mises.....	67
Figura 51 Valor factor de seguridad.....	68
Figura 52 Croquis de tapa cónica.....	68
Figura 53 Escala de deformación .....	70
Figura 54 Valor global de Von Mises .....	71
Figura 55 Factor de seguridad.....	71
Figura 56 Distribución de la máquina.....	72
Figura 57 Modelo de brida.....	73
Figura 58 Distribución de esfuerzos .....	73
Figura 59 Distribución de esfuerzos. (a) Tangencial y (b) Radial .....	74
Figura 60 Esquema modo de sujeción cilindro/tapa .....	76
Figura 61 Ecuación valor LT .....	77
Figura 62 Pernos acoplados .....	80
Figura 63 Vista superior de la tapa .....	80
Figura 64 Estructura acero 304 .....	81

Figura 65 Modo de limpieza .....	81
Figura 66 Sujeción tanque-estructura.....	82
Figura 67 Esquema de fuerzas .....	82
Figura 68 Esquema temperaturas .....	88
Figura 69 Temperaturas del tanque.....	107
Figura 70 Resistencias térmicas .....	107
Figura 71 Temperaturas del condensador .....	110
Figura 72 Resistencias térmicas .....	111
Figura 73 Características técnicas quemador HAT.....	113
Figura 74 Distribución de agujeros .....	116
Figura 75 Junta cuerpo del cilindro.....	116
Figura 76 Junta cabeza y cuerpo .....	117
Figura 77 Junta para brida.....	117
Figura 78 Ensamblado de tuberías y accesorios .....	118
Figura 79 Esquema de accesorios .....	120
Figura 80 Dimensiones .....	122
Figura 81 Esquema sistema de bombeo .....	124
Figura 82 Boceto extratora de AE.....	132
Figura 83 Diagrama proceso de extracción.....	150
Figura 84 Vol. aceite vs tiempo .....	159
Figura 85 Vol. emulsión vs tiempo .....	160
Figura 86. Vol. aceite + Vol. Agua .....	161

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Métodos de extracción .....	14
Tabla 2 Propiedades del eucalipto .....	21
Tabla 3 Aplicación segura de aceites esenciales.....	23
Tabla 4 Propiedades GLP .....	26
Tabla 5 Tipos de juntas .....	32
Tabla 6 Propiedades mecánicas A36.....	39
Tabla 7 Resumen de materiales.....	45
Tabla 8 Puntuación para Criterios ponderados .....	47
Tabla 9 Parámetros y características de diseño.....	50
Tabla 10 Resumen atributos de los métodos de extracción .....	51
Tabla 11 Peso específico de las opciones .....	54
Tabla 12 Peso específico para Tecnología .....	54
Tabla 13 Peso específico para Costo.....	55
Tabla 14 Peso específico para Fabricación .....	55
Tabla 15 Peso específico para Capacidad .....	55
Tabla 16 Peso específico para Dimensiones .....	56
Tabla 17 Peso específico para Mantenimiento.....	56
Tabla 18 Resultados .....	57
Tabla 19 Eficiencia de juntas .....	61
Tabla 20 Factores de seguridad recomendados.....	63
Tabla 21 Condiciones de borde (cilindro).....	67
Tabla 22 Condiciones de borde (tapa) .....	70
Tabla 23 Parámetros de diseño condensador .....	87
Tabla 24 Características de tubería .....	88
Tabla 25 Datos de interpolación para $h_{fg}$ .....	105
Tabla 26 Accesorios .....	118
Tabla 27 Pérdidas totales .....	120
Tabla 28 Pérdidas totales .....	126
Tabla 29 Aplicación de diseño .....	127
Tabla 30 Equipo necesario para contenedor .....	132
Tabla 31 Construcción de tanque.....	133



Tabla 32 Construcción de tapa .....	134
Tabla 33 Construcción de tapa agujerada .....	135
Tabla 34 Equipo necesario para condensador .....	136
Tabla 35 Construcción de coraza .....	136
Tabla 36 Construcción de serpentín .....	138
Tabla 37 Equipo necesario armado de tuberías.....	139
Tabla 38 Ensamblaje de tubería/accesorios .....	139
Tabla 39 Equipo necesario para estructura .....	142
Tabla 40 Construcción de soporte.....	142
Tabla 41 Ensamble final.....	143
Tabla 42 Equipo necesario para PH .....	147
Tabla 43 Pasos PH .....	147
Tabla 44 Proceso de extracción.....	151
Tabla 45 Resultados .....	155
Tabla 46 Registro de datos.....	158
Tabla 47 Propiedades de nuestro AE .....	163
Tabla 48 Características del aceite .....	164
Tabla 49 Costo materiales y accesorios .....	165
Tabla 50 Costo equipos y recursos.....	166
Tabla 51 Costo total .....	167

## NOMENCLATURA

Esta es una lista de los símbolos usados para nombrar algunos de los parámetros de diseño mecánico del presente trabajo, los cuales son de utilidad para la rápida y fácil comprensión de lo que se está desarrollando.

<b>Definición</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>
American National Standards Institute	ANSI	-
American Welding Society	AWS	-
American Society of Mechanical Engineers	ASME	-
Computer Aided Engineering	CAE	-
Computer Aided Design	CAD	-
Aceite esencial	AE	-
Ecuación	Ec	-
Viscosidad	$\mu$	<i>kg/m.s</i>
Viscosidad cinemática	$\nu$	<i>m<sup>2</sup>/s</i>
Densidad	$\rho$	<i>kg/m<sup>3</sup></i>
Eficiencia material vegetal	$\eta$	%
Masa de material vegetal	$m_{eu}$	<i>gr</i>
Presión	$P$	<i>psi</i>
Límite de fluencia	$\sigma_Y$	<i>kpsi</i>
Volumen	$V$	<i>m<sup>3</sup></i>
Radio	$r$	<i>m</i>

Altura	$h$	$m$
Espesor de pared	$t$	$mm$
Espesor de tubería	$e$	$mm$
Esfuerzo disponible máximo del material	$S$	$kg/m^2$
Eficiencia de la junta soldada	$E$	$\%$
Esfuerzo tangencial	$\sigma_t$	$kg/m^2$
Esfuerzo axial	$\sigma_L$	$kg/m^2$
Esfuerzo último del material	$S_y$	$kg/m^2$
Flujo masico teórico	$\dot{m}_v$	$kg/s$
Masa de vapor necesaria para la extracción.	$M_v$	$kg/s$
Tiempo de diseño de extracción	$t_d$	$min$
Flujo de vapor estándar en condiciones experimentales	$m_l$	$kg/s$
Tiempo de extracción estándar en condiciones experimentales	$t_{es}$	$min$
Tiempo de extracción	$t_{ex}$	$min$
Tiempo de calentamiento	$t_c$	$min$
Área de tubería	$A_{sec}$	$m^2$
Diámetro interno de la espiral	$D_{i\,espiral}$	$m$
Diámetro externo de la espiral	$D_{e\,espiral}$	$m$
Numero de vueltas del serpentín	$N$	-

Diámetro promedio del serpentín	$D_h$	$m$
Paso entre espiras	$p$	$m$
Volumen del serpentín	$V_{serp}$	$m^3$
Área de la coraza	$A_c$	$m^2$
Volumen de la coraza	$V_{co}$	$m^3$
Volumen de flujo	$V_{flujo}$	$m^3$
Diámetro equivalente de la coraza	$D_{eq}$	$m$
Flujo másico de la mezcla	$\dot{m}_{mezcla}$	$kg/h$
Entalpia	$h_{fg}$	$KJ/kg$
Calor de condensación	$Q_{cond}$	$KJ/h$
Calor de subenfriamiento	$Q_{sub}$	$KJ/h$
Flujo masico del refrigerante	$\dot{m}_{refri}$	$kg/h$
Velocidad de la mezcla	$v_{mezcla}$	$m/h$
Número de Reynolds	$Re$	-
Número de Prandtl	$Pr$	-
Coeficiente de transferencia de calor	$h$	$KJ/h \cdot m^2 \cdot K$
Coeficiente pelicular corregido de transferencia de calor	$h_{ic}$	$KJ/h \cdot m^2 \cdot K$
Coeficiente global de transferencia de calor	$U$	$KJ/h \cdot m^2 \cdot K$
Media logarítmica de la diferencia de temperatura	$MLDT$	$^{\circ}C$

Diferencia de temperatura	$\Delta t$	$^{\circ}C$
Factor de fricción	$f$	-
Caída de presión	$\Delta P$	$Pa$
Poder calorífica del GLP	$P_C$	$kcal/l$
Tiempo de energía	$t_{GLP}$	<i>horas</i>
Área del tanque	$A_{tan}$	$m^2$
Peso específico	$\gamma$	$N/m^3$
Rugosidad del material	$\varepsilon$	$mm$
Potencia de bomba	$P_B$	$hp$
Prueba hidrostática	$PH$	-

## RESUMEN

El presente proyecto técnico se desarrolló en colaboración con SaveWater, empresa que se dedica a la elaboración y comercialización de productos de limpieza; donde el objetivo es obtener aceites esenciales de diferentes plantas aromáticas para utilizarlos en los productos que fabrica, prescindiendo así de las ofertas disponibles en el mercado nacional e internacional, haciendo que aumente la competitividad en el mercado.

Tras una minuciosa investigación bibliográfica se determinó que el método más eficaz es el denominado Arrastre de vapor, con el cual se construyó una máquina basada en el código ASME, sección VII – “Reglas para la construcción de recipientes a presión”. Para el diseño de los componentes se tomaron a consideración las presiones recomendadas para aceites esenciales expuestas por diferentes autores, posteriormente se corroboró su resistencia mediante análisis de elementos finitos al encontrar el factor de seguridad. Con la etapa de diseño terminada se pasa a la construcción guiada mediante diagramas de procesos y planos, comprobando así que los parámetros de construcción son los correctos. Se concluye con el ensamblado y verificación de funcionamiento con una prueba hidrostática, la misma que está sustentada en el mismo código ASME, apartado UG-136.

Una vez completada la etapa de pruebas, los resultados obtenidos indican que la máquina está correctamente construida por su reporte de eficiencia del 90 por ciento de capacidad. Así también los análisis de laboratorio del aceite esencial obtenido son los óptimos según los reportes con soporte en la normativa ISO-592.

**Palabras claves:** Aceites esenciales, Máquina extractora, Código ASME, Arrastre de vapor, Norma ISO-592.

## ABSTRACT

The present technical project was developed in collaboration with SaveWater, a company dedicated to the production and commercialization of cleaning products; where the objective is to obtain essential oils from different aromatic plants to use them in the products it manufactures, thus dispensing with the offers available in the national and international market, making it increase competitiveness in the market.

After a thorough bibliographic research, it was determined that the most efficient method is the so-called steam dragging, with which a machine was built based on the ASME code, section VII - "Rules for the construction of pressure vessels". For the design of the components, the recommended pressures for essential oils exposed by different authors were taken into consideration, and later their resistance was corroborated by means of finite element analysis to find the safety factor. With the design stage completed, the construction is guided by process diagrams and drawings, thus verifying that the construction parameters are correct. The assembly and verification of operation is concluded with a hydrostatic test, which is supported by the same ASME code, section UG-136.

Once the testing stage is completed, the results obtained indicate that the machine is correctly built due to its efficiency report of 90 percent of capacity. Also, the laboratory analysis of the essential oil obtained is optimal according to the reports supported by the ISO-592 standard.

**Keywords:** Essential oils, Extraction machine, ASME Code, Steam entrainment, ISO-592 Standard.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Tema

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE ACEITES ESENCIALES PARA LA EMPRESA SAVEWATER UBICADA EN LA CIUDAD LATACUNGA”

### 1.2 Antecedentes investigativos

Desde la antigüedad las plantas han sido la fuente principal de obtención de medicamentos, dar sabor a los alimentos y aroma a los perfumes. El humano primitivo se dio cuenta que algunas especies de plantas secretaban una especie de líquido viscoso al ejercerles presión; esto era el aceite esencial de la planta las cuales eran el olivo, el sésamo que eran muy abundantes. La curiosidad humana llevó a mezclar los aceites extraídos de dichas plantas con otras que desprendían aromas agradables, es así como se empezó a entender la simbiosis que estos dos elementos poseían [1].

Como una evidencia de lo antigua que es esta práctica con las plantas, nos transportamos metafóricamente al pasado, a 2800 a. C para ser más exactos. Un documento de la medicina antigua denominado el papiro Ebers, detalla el uso de plantas nativas para el alivio de dolencias causadas por infecciones [1].

En el 300 a. C Teofrasto conocido como el padre de la botánica muestra en su manuscrito Enquiry into Plants, las aplicaciones de las plantas a manera de infusiones y finalmente en 90 d. C, Dioscórides enlista 700 plantas que con sus recomendaciones serían capaces de tratar enfermedades como la gangrena, cáncer y hasta llegar a realizar abortos inducidos debido a la gran potencia de las plantas [2].

Los aceites esenciales tuvieron su presentación gracias a Avicena, un médico que creo la primera destiladora alambique de la historia. Este invento fue bien acogido por parte de los boticarios que vendían los productos para tratar epidemias como la peste que en aquella época azotaba a Europa. Para mediados del siglo XX ya se contaba con grandes datos sobre medicamentos naturales que fueron evaluados científicamente dando como



resultado las medicinas definitivas para enfermedades metabólicas, hormonales y hasta anticancerígenas. En la actualidad los beneficios de las plantas aún se siguen investigando y desarrollando nuevas medicinas que ayuden a tratar enfermedades que no tienen cura [2].

### **1.3 Investigaciones previas**

Las plantas realizan un proceso natural denominado metabolismo mediante el cual se producen los aceites esenciales en los cuales se enfoca este trabajo técnico. Dichos aceites se componen químicamente de hidrocarburos sesquiterpénicos y otros compuestos generados por la metabolización de los aminoácidos y los ácidos grasos que en una conjunción son los responsables de los aromas que las plantas desprenden tanto en flores, tallos y hojas. Las familias de plantas con más producción de dicha sustancia son: la Apiaceae, la Asteraceae, Lamiaceae, Malvaceae, Oleaceae, Laureceae, Rutaceae, Zingiberacea, por nombrar algunas [3].

Actualmente se tiene registro de aproximadamente 3000 tipos de aceites de los cuales 300 de ellos son la base de la comercialización mundial, así la ISO 4720 registra a 163 de estos aceites con su certificado. La industria de la perfumería y la cosmética es la que ha explotado este producto por ser no tóxico al contacto con el ser humano, además de sus altas propiedades beneficiosas. De igual manera la industria alimenticia ha tomado estas sustancias como aditivos para mejorar los sabores de los alimentos, como agentes antioxidantes y antimicrobianos [2].

Por otro lado, la industria agrícola también ha tomado parte al usarlos como agentes repelentes de plagas en las cosechas que no afectan a la planta por ser orgánico ni al ambiente. Finalmente es importante mencionar el gran valor que poseen los aceites esenciales para la fabricación de sustancias mediante su destilación, estas son: Eugenol extraído de la esencia de clavo y la pimienta (*Syzygium aromaticum* y *Pimenta racemosa*), citronela para usos medicinales y olor cítrico (*Cymbopogon winterianus*), la citronelal como repelente de insectos proveniente del eucalipto (*Eucalyptus citriodora*), el mentol un analgésico delicado que se obtiene del aceite esencial de la menta (*Mentha arvensis*), entre otros. Estos productos son expuestos al mercado tan y como son obtenidos, otros son la materia prima para la creación de compuestos más complejos [2].

Los aceites extraídos de las plantas son netamente un producto orgánico con altos niveles de biodegradación que en la industria son la base para la fabricación de aceites verdes que son amigables con el medio ambiente a diferencia de los aceites minerales y los sintéticos. La extracción de aceites esenciales se comprende como un proceso limpio y no dañino para el ambiente que además se ser usados en su estado puro, se pueden combinar con aditivos de la misma naturaleza biodegradable y conseguir compuestos con propiedades únicas no tóxicas [3].

El presente proyecto toma información en los trabajos técnicos involucrados con la extracción de aceites esenciales y diseño de intercambiadores de calor desarrollados por estudiantes de otras universidades los cuales han servido para considerar diferentes puntos esenciales que ayudan a mejorar la investigación.

- La tesis elaborada y presentada por el Ing. José Fernando Salazar V. con el tema “Diseño de equipos de transferencia de calor”. Desarrollado en la Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. En este documento se muestra los parámetros más importantes para la construcción de intercambiadores de calor según las necesidades requeridas según las normativas establecidas [4].
- El trabajo de fin de grado de Irene C. Villaverde con el tema “Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor” desarrollado y presentado en la Universidad Politécnica de Madrid. El documento sirve de base para obtener las mejores características del aceite esencial al momento de su extracción, así también como los principios esenciales de funcionamiento de un equipo de destilación [5].
- Finalmente, el artículo científico “Extracción y caracterización del aceite esencial de mandarina obtenido de residuos agroindustriales presentado por Carolina Navarrete de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín; en su trabajo se lee la obtención de AE de los residuos agroindustriales por arrastre de vapor y como la presión y capas de fruta afectan en la calidad y la eficiencia de extracción. Datos para tener muy en cuenta al momento de diseñar nuestro equipo de extracción [6].

#### **1.4 Contextualización del problema**

En la actualidad, entendemos que el aseo, la limpieza y el saneamiento hacen una tremenda contribución referente a la prevención de patologías y a conservar la salud en la población. Sin embargo, esto no ha sido siempre de esta forma. Durante la mayoría de nuestra historia, las prácticas de saneamiento eran básicamente inexistentes. Afortunadamente la industria de la limpieza ha ido evolucionando de tal forma que hoy en día se pueden encontrar diversos productos para el aseo doméstico.

Dentro de la industria de la limpieza, puntualmente en la fabricación de detergentes domésticos el perfume que estos tienen es muy importante ya que es un diferenciador entre la competencia. Para lograr la fragancia deseada las empresas utilizan aceites esenciales de plantas aromáticas (manzanilla, menta, eucalipto, lavanda). Existen varias técnicas de extracción de aceite como son la hidrodestilación que básicamente es sumergir en agua la materia prima del aceite que se piensa extraer y mediante decantación y condensación del vapor se obtiene el aceite esencial. También tenemos a la destilación con agua y vapor y la destilación en corriente de vapor que es similar al proceso anterior usando vapor para la extracción del aceite [7].

Para la extracción por el método de arrastre por vapor es necesario utilizar un recipiente a presión que sirva de contenedor de la materia prima y agua, este debe tener indicadores de presión y temperatura para que el operario sepa el momento en el que tiene que abrir la válvula para permitir el paso de la mezcla. El recipiente consta de una tapa en forma de cono que evita pérdidas de presión, tanto el recipiente como la tapa se sella con pernos anclados y entre estos dos componentes se coloca un empaque de caucho para impedir fugas. A su vez debe contar con un intercambiador de calor de tubos para que el vapor pueda ser condensado y así poder obtener el aceite mediante un vaso separador. Todo el diseño, selección de materiales y elementos se basará en la norma ASME para la construcción de calderas y recipientes a presión (BPVC), SECCIÓN VIII, DIVISIÓN 1. El diseño del sistema pasará por un filtro de simulación (diseño por elementos finitos) que garantice su buen funcionamiento una vez construido [5].

En Ecuador existen varias empresas dedicadas a la producción de aceites esenciales como Aromalab una empresa dedicada a la venta de productos aromatizantes que como

base podemos tomar al aceite esencial de eucalipto con un costo al público de \$12,00 el recipiente de 10 ml; por otra parte, la empresa dōTERRA ofrece aceite esencial de eucalipto a \$22,00 por 15 ml de producto y Young Living lo ofrece a \$20,39 por la presentación de 15 ml con densidades que oscilan entre los 0.899 a 0.925 gr/ml.

### **1.5 Códigos de referencia**

- Código ASME, Sección VIII, División I
- ASTM D2000
- AWS D1.1
- AWS A2.4

### **1.6 Objetivos**

#### **1.6.1 Objetivo general**

- Diseñar y construir una máquina extractora de aceites esenciales para la empresa SAVEWATER ubicada en la ciudad Latacunga.

#### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Investigar diferentes formas de extracción de aceites esenciales junto con la respectiva normativa de diseño para la fabricación de recipientes a presión.
- Seleccionar el método más adecuado y eficiente para la extracción de aceites esenciales.
- Diseñar el sistema de extracción seleccionado en base a cálculos de ingeniería y modelado CAD.
- Construir el sistema de extracción de acuerdo con los parámetros calculados.
- Evaluar el prototipo del sistema de extracción de aceites esenciales para verificar el funcionamiento.

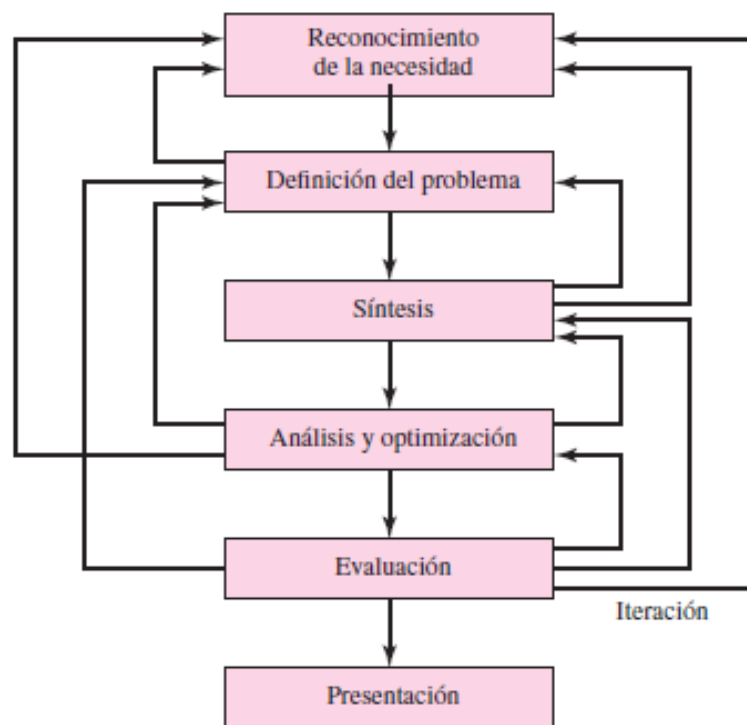
### **1.7 Fundamentación teórica**

#### **1.7.1 Diseño mecánico**

En la ingeniería mecánica el diseño se usa para la resolución de problemas que involucren o no la creación de un elemento físico el cual brinda un servicio, utilidad y que a su vez debe ser seguro, manejable y de construcción accesible. Para llegar al diseño definitivo de una máquina o elemento se debe pasar por varios procesos como se muestra en la Figura 1 que va desde el análisis de la necesidad, pasando por

iteraciones hasta llegar a la presentación del modelo final. El diseño toma a consideración modelos pasados, comunicación entre diseñadores, constructores y personal de varias áreas profesionales que en forman un equipo de trabajo. El ingeniero mecánico como diseñador posee conocimientos matemáticos, estadísticos e informáticos, pero también la capacidad de resolver problemas únicos para cada situación.

Diseñar en ingeniería es lograr obtener elementos confiables, con gran competitividad en el mercado, económicos y que puedan ser operados fácilmente y sean beneficiosos para la humanidad [8].



**Figura 1** Etapas del proceso de diseño [8]

### 1.7.2 Termodinámica

Palabra proveniente del griego *thermos* (calor) y *dynamis* (potencia), siendo la ciencia enfocada al estudio de la transformación de la energía, el sentido que toma el calor para moverse en el entorno o en un sistema y la cantidad de energía resultante para realizar un determinado trabajo. Dichos cambios de la energía vienen acompañados de cambios físicos y químicos, también. La termodinámica está involucrada en la mayoría de las actividades desarrolladas por los seres humanos a lo largo del día empezando por la misma transformación de los alimentos a energía para mantenernos vivos, los

procesos bioquímicos desarrollados por las células. Por el lado industrial se muestran los refrigeradores, termosifones, paneles solares, combustión de los automóviles, centrales nucleares como ejemplos que se pueden observar en la Figura 2 [9].



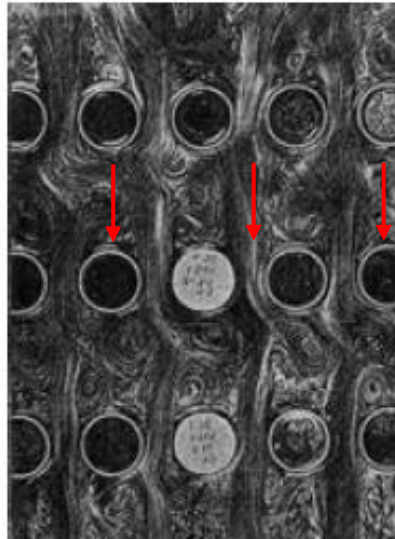
**Figura 2** Presencia de la termodinámica en diferentes campos [9]

### 1.7.3 Intercambiador de calor

Dispositivo que intercambian el calor de una manera más eficiente entre dos fluidos evitando que se mezclen y que poseen diferentes valores de temperatura. Los intercambiadores en la actualidad son de uso común por estar en aparatos de uso doméstico y también industrial. En su interior se produce convección por parte de cada fluido y la conducción generada en las paredes que separa un fluido del otro dando como resultado la transferencia de calor. En general contienen una serie de tubos acoplados a una coraza específicamente para fluidos en estado líquido que se desplaza por los espacios existentes entre los tubos y la coraza [10].

El flujo que se mueve por la tubería se lo toma como referencia para el análisis y por tanto no es necesario considerar cada uno de ellos y al final únicamente se multiplica el resultado por el número total de tubos.

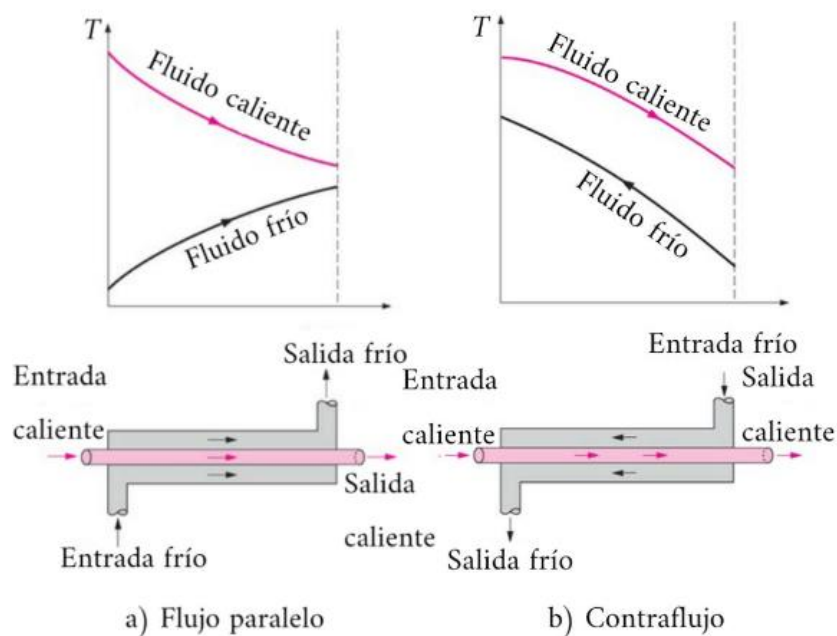
La configuración de los tubos se toma diferentes opciones que puede ser de tipo alineada o en escalera siempre que sea en dirección del movimiento como se muestra en la Figura 3 donde el parámetro conocido como longitud característica se toma a partir del diámetro exterior del tubo [10].



**Figura 3** Alineación en banco de tubos [10]

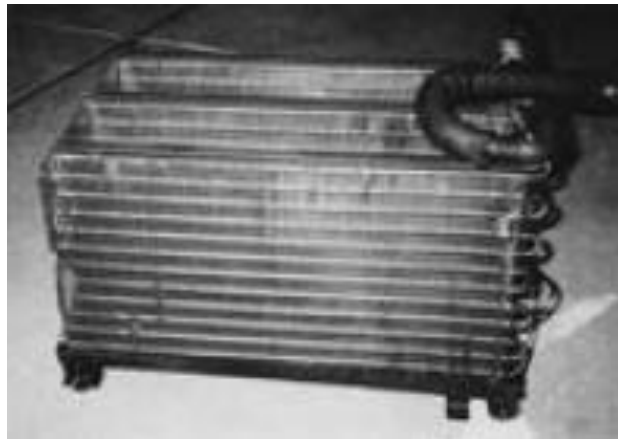
### Modelos más usados

- **Doble tubo:** Constituido por dos tubos ubicados concéntricamente por donde circula el fluido, uno por el tubo más pequeño y, otro por el espacio restante entre este y el más grande. En la Figura 4 (a) se puede ver el diagrama de una configuración en paralelo el cual presenta en curvas opuestas, convexa para el fluido caliente y cóncava para el fluido frío. En la Figura 4 (b) el contraflujo muestra un diagrama en donde las curvas de ambos fluidos adquieren una forma cóncava [10].



**Figura 4** Configuración de flujo. (a) Paralelo. (b) Contraflujo [10]

- **Compacto:** Logra una mejor transferencia de calor por cada unidad de volumen gracias a su área superficial incrementada. Para ser denominado intercambiador compacto se debe regir por el valor de densidad de área ( $\beta$ ) con un valor mayor a los  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$  como se tiene en los radiadores de vehículos. Tiene ciertas limitaciones en cuanto al peso y volumen total de su cuerpo con se observa en la Figura 5 el cual es bastante robusto, pero logra la mayor transferencia de calor entre fluidos [10].



**Figura 5** Intercambiador compacto [10]

#### 1.7.4 Convección

Fenómeno que transfiere energía calorífica entre dos elementos que pueden ser sólidos, líquidos o gases en movimiento. La transferencia de calor ocurre mucho más rápida si el movimiento de estos fluidos es continuo, a medida que esta incrementa su cálculo es mucho más complejo. Sin embargo, se ha podido determinar una ecuación para determinar los valores de conducción mediante la ley de enfriamiento de Newton [10].

$$\dot{Q}_{conv} = h A_s (T_s - T_\infty) \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Donde,

$h$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección.

$A_s$ : Área donde ocurre la transferencia de calor.

$T_s$ : Temperatura superficial.

$T_\infty$ : Temperatura del fluido fuera del rango de alcance de la superficie caliente.



Con respecto al valor del coeficiente de transferencia de calor se ha determinado tablas con valor predeterminados obtenidos de manera experimental al no ser una propiedad extintica de los fluidos. En la Figura 6 se muestra los valores de h para diferentes casos.

Valores típicos coeficiente de transferencia de calor para convección	
Tipo de convección	h, W/m <sup>2</sup> . °C
Libre de gases	2-5
Libre de líquidos	10-1000
Forzada de gases	25-250
Forzada de líquidos	50-20000
Ebullición y condensación	2500-100000

**Figura 6** Valores de h (W/m<sup>2</sup>. °C) [10]

### 1.7.5 Conducción

Acción de transferir energía con alta concentración contenida en un sólido, líquido o gas hacia una con menor concentración de energía mediante el contacto. En términos generales la transferencia de calor mediante la conducción en una superficie es proporcional su variación de temperatura junto con el área donde ocurre la transferencia y se la calcula mediante la Ec. 1.2, ley de Fourier [10].

$$\dot{Q}_{con} = -k A \frac{\Delta T}{L} \quad (\text{Ec. 1.2})$$

Donde,

*k*: Conductividad térmica del material involucrado.

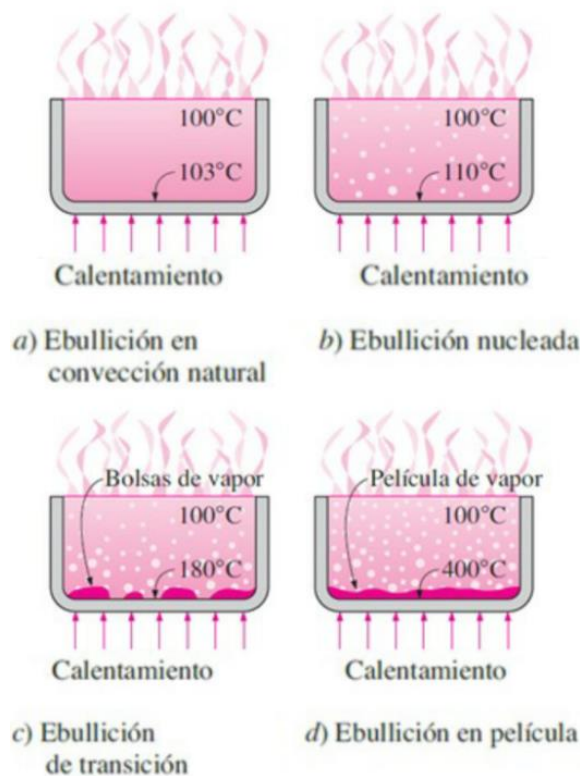
*A*: Área donde ocurre la transferencia de calor.

$\Delta T$ : Variación de temperatura.

*L*: Espesor de pared.

### 1.7.6 Ebullición estacionaria

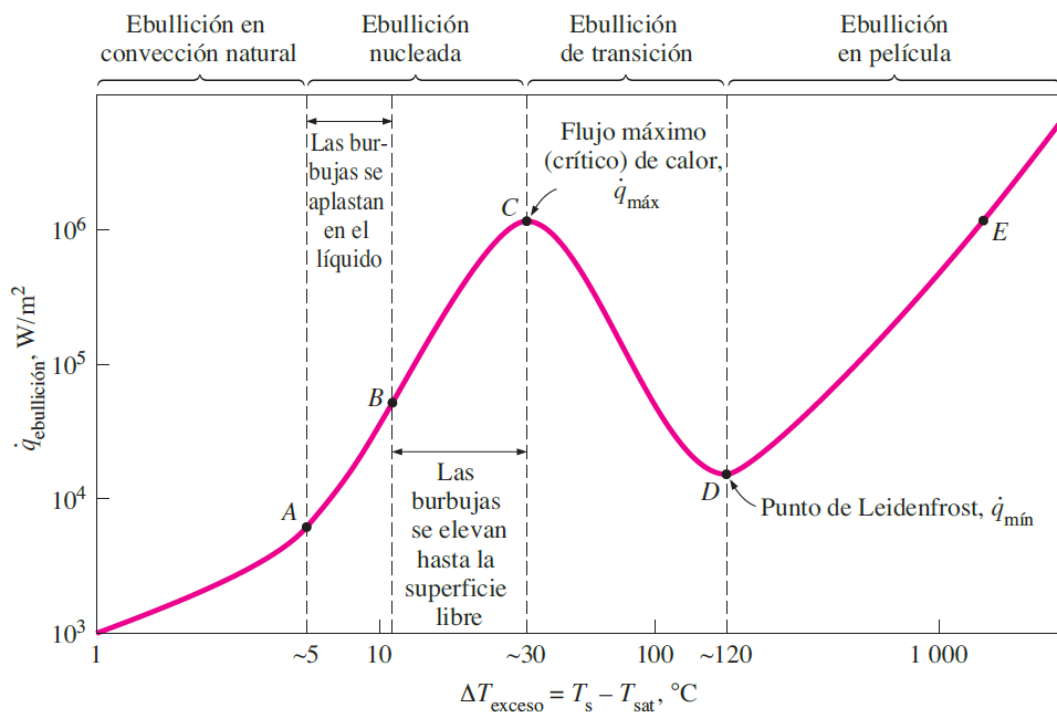
La ebullición de fluidos que se encuentran en estado estático en un volumen contenedor el cual aporta con temperatura dando paso a la existencia de corrientes de convección al llegar a la temperatura estándar de ebullición (100 °C) a presión atmosférica estándar. En este proceso ocurren cuatro regímenes de ebullición natural los cuales se observan en la Figura 7 [10].



**Figura 7** Regímenes de ebullición [10]

- **Convección natural:** El fluido alcanza temperaturas poco más de la temperatura de saturación proporcionale un movimiento natural debido a la convección por la transferencia de calor desde la fuente de energía. En la gráfica de la curva de ebullición en la Figura 8 se observa el punto A con 5 puntos de temperatura mayor a la de saturación [10].
- **Nucleación:** Aparición de las primeras burbujas a manera de núcleos por ello su nombre, en este punto las burbujas aparecen con mayor rapidez hasta el punto C de la Figura 8, el cual se mantiene a 30 puntos después de la temperatura de saturación [10].

- **Transición:** Con el incremento de la temperatura en la superficie, esta sobrepasa el punto C pero que a su vez el flujo de calor llega a su punto máximo y también su punto de descenso como se puede observar la curva rosa de la Figura 8, cayendo hasta el punto D (punto Leidenfrost) con 120 puntos después de la temperatura de saturación [10].
- **Película:** Después del punto D aparece la denominada película de vapor involucrada con el fluido y la superficie de calor. El punto E es la temperatura de superficie después del punto de fusión de la mayor parte de fluidos (1000 °C más de la temperatura de saturación) [10].



**Figura 8** Curva de ebullición del agua a 1 atm [10]

### 1.7.7 Ecuación de la energía

Denota la conservación de la energía cinética en fluidos que se mueven de un lugar a otro donde su presión es cambiante a lo largo del medio contenedor (tuberías) al igual que su velocidad. Se establece la ecuación de la conservación de la energía para determinar las acciones en puntos 1 y 2 de un sistema de tuberías [11].

$$\frac{p_1}{g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (\text{Ec. 1.3})$$

### 1.7.8 Máquinas destiladoras

Maquinas diseñadas para extraer líquidos de mezclas químicas con la mayor pureza posible durante el proceso de destilación mediante el uso del calor como fuente de energía con el cual se logra llegar al punto de ebullición para posteriormente condensarlo mediante enfriamiento directo. Con este principio se extraen los productos que se conocen en la industria cosmética, medicinal y química como los perfumes, AE, bebidas alcohólicas, entre otras [12].

En este trabajo lo que nos ocupa es la destilación de AE por tanto es importante mencionar el uso de material vegetal del cual se obtiene el producto deseado con diferentes métodos de extracción que se detallarán más adelante. En la Figura 9 se muestra como está conformada una maquina destiladora con su respectivo equipo.



**Figura 9** Maquina destiladora [12]

#### **Equipo**

- Cámara para extracción
- Condensador
- Sistema de calefacción
- Intercambiador de calor
- Sistema de seguridad al operario
- Válvulas de descarga
- Sistema de transporte (tubería)

### 1.7.9 Métodos de extracción

El modo de la obtención del aceite esencial varía según la especie de planta en cuestión, parte de la planta a usar (tallo, hojas, frutos) y la calidad de aceite que se desea obtener. Los medios son básicamente una combinación de principios físicos y químicos que se clasifican los métodos directos, destilación y extracción como se detalla en la Tabla 1 [13].

**Tabla 1** Métodos de extracción [13]

<b>Tipo de método</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Productos</b>
<b>Directos</b>	Extrusión	Aceites esenciales modo crítico
	Exudación	Resinas, gomas
<b>Destilación</b>	Directa	Aceite esencial y agua aromatizada
	Arrastre de vapor de agua	
	Maceración	
<b>Extracción con solventes</b>	Solventes	Infusiones
		Resinoides
	Solventes fijos	Pomadas
		Enflorados
Fluidos supercríticos		

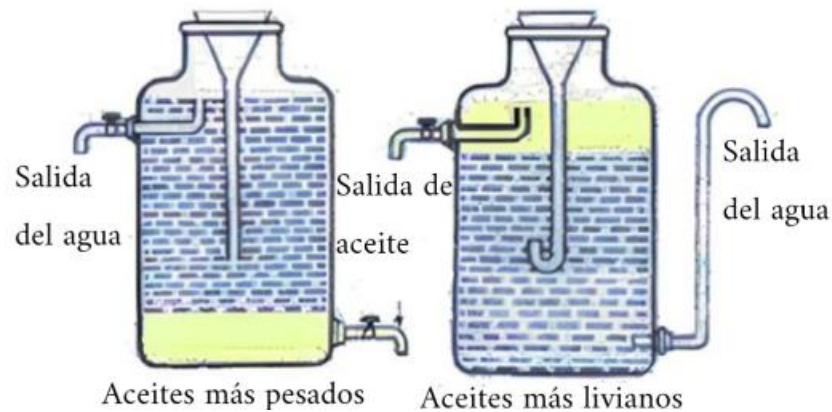
#### 1.7.9.1 Obtención directa

Este método es solo aplicable a frutos cítricos debido a que el aceite se contiene en bolsas del epicarpio alojado en la corteza (piel) de la fruta que con simple presión dichas bolsas sufren laceración o dicho de otra manera se rompen, liberando la sustancia deseada la cual debe ser almacenada rápidamente en contenedores de lo contrario es absorbida por la corteza de tipo esponjosa del mismo fruto [13].

#### 1.7.9.2 Destilación

Procedimiento de extracción que usa la temperatura para calentar contenedores los cuales alojan las especies de plantas calificadas para la extracción de aceites. En la Figura 10 se muestra el esquema de destilación donde las sustancias contenidas en ellas cambian de estado líquido a gaseoso que es transportado por tubos que son enfriados para llevar el aceite esencial a su estado líquido nuevamente. El proceso de destilación cumple con la Ley de Raoult por ser compuestos de naturaleza volátil lo cual establece que la presión total del vapor será el resultado de la sumatoria de las

presiones parciales del vapor que ejercen sus compuestos por separado a una temperatura establecida; es así como el cambio de estado del aceite a gas se lleva a cabo a temperaturas menores a la del punto de ebullición del agua [13].



**Figura 10** Esquema del proceso de destilación [13]

El equipo principal para llevar a cabo el proceso de destilación es:

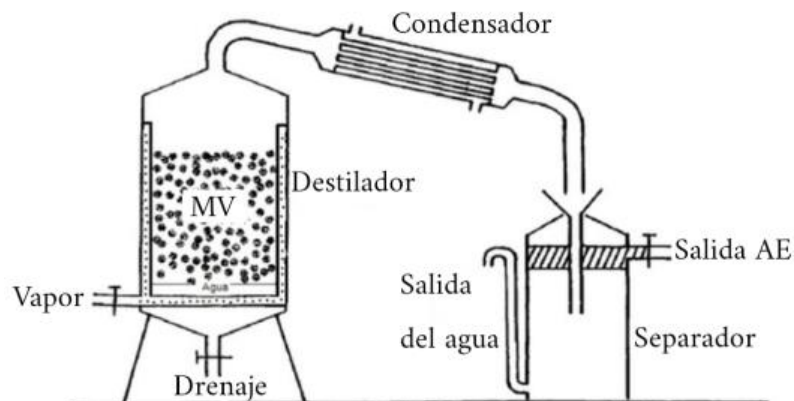
- **Destilador:** También denominado extractor que es el depósito que almacena la materia prima (producto vegetal). Su tamaño varía de acuerdo con las necesidades de producción de aceite.
- **Fuente de calor:** Para este elemento se puede tomar varias opciones de fuentes generadoras de calor, una de ellas y la más usada es la combustión de materia vegetal (madera), también el uso de gas licuado de petróleo.
- **Intercambiador de calor:** Conocido químicamente como el condensador el cual transforma el vapor generado por la fusión del vapor de agua con los aceites separados de las plantas.
- **Decantador:** Encargado de disolver la mezcla existente entre el vapor de agua con los aceites que llega a través del serpentín del intercambiador de calor. Según el peso que posea el aceite esencial se alojará en la parte superior de ser liviano o en el fondo de ser pesado por tanto se deberá conocer la naturaleza del aceite que se va a obtener para la correcta ubicación del decantador [13].

Con el pasar de los años se han ido perfeccionando las técnicas de destilación las cuales han abierto puertas a técnicas más eficientes, fáciles y económicas dependiendo del uso que parten de un mismo principio y se detalla a continuación diferentes tipos de destilación:

### a) Arrastre con vapor de agua

Aprovecha la calidad que tiene el vapor de agua de unirse al aceite en estado gaseoso y por condensación se libera el aceite. La Figura 11 muestra el proceso de destilación el cual el vapor de agua ingresa por inyección contenido en la caldera, los tubos difusores ubicados debajo del grupo de plantas. Los aceites contenidos en las plantas logran difundirse por el vapor y terminan formando agua perfumada y aceite esencial al condensarse. Este método no va más allá del principio básico de la destilación [13].

El vapor generado a bajas presiones pasa a través de la planta con el fin de obtener los caracteres volátiles de la planta los cuales son recolectados. Con respecto al tiempo de trabajo cabe mencionar que es diferente para cada especie de planta que por su complejidad puede demorar o simplificar su extracción al llegar más rápido o más lento a punto de ebullición [2].



**Figura 11** Esquema destilación por arrastre con vapor [2]

Incluso con la temperatura del vapor las reacciones químicas de los componentes de la planta no tienen lugar solo se ejecuta su liberación a presiones en la mezcla dada en la Ec.1.4.

$$P_{AE} = \frac{P_{aceite}}{P_T} \quad (\text{Ec. 1.4})$$

La presión del AE ( $P_{AE}$ ) puede llegar a valores tan altos que es necesario el uso de equipos muy especializados para el proceso; los vapores son movidos por tuberías que también deben soportar altas presiones que van desde los 0.5 MPa.

**Ventajas:** El bajo consumo de energía calorífica lo vuelve un método eficiente tanto a nivel industrial como de laboratorio, además se puede regular la velocidad con la que

se lleva a cabo la destilación. Ideal para proceso de gran demanda por dar como resultado productos de alta calidad y propiedades por estar libre de solventes. El agua contenida en el condensador tiene la posibilidad de ser reciclada en la cámara de enfriamiento que puede ser movida por una bomba o gravedad [13].

**Desventajas:** Cabe la posibilidad de que ocurra polimerización de los terpenos como daño colateral. Otro daño puede ser la generación de la hidrólisis de los ésteres que dan como resultado un compuesto químico distinto. Si no hay control de la temperatura de la caldera se puede llegar a estropear el equipo químico [13].

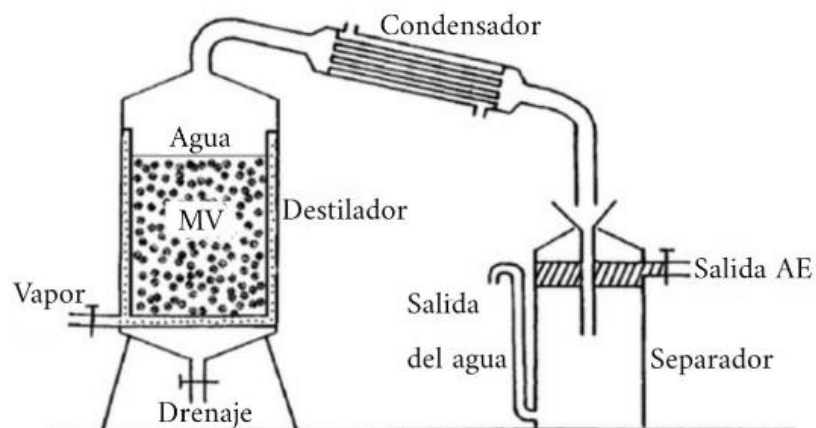
### **b) Hidrodestilación**

Técnica que se logra al llevar agua a su punto de ebullición ya sea por aplicación directa de fuego o nube de aceite. La Figura 12 muestra diagrama de hidrodestilación, la cámara principal se almacena el producto vegetal, pero para este proceso se lo maneja en estado deshidratado que al contacto con el vapor se obtiene el mayor contacto con las partículas aromáticas. El producto vegetal se mantiene en movimiento permanente que de lo contrario llega a formar aglomeraciones en las paredes de la cámara haciendo que se sobrecaliente o en el peor de los casos se queme. Para una mayor eficiencia y ahorro del sistema se ha diseñado sistemas con tubos de cohobación haciendo que el agua vuelva al contenedor de destilación ya que el proceso requiere un gran volumen de agua [2].

**Ventajas:** Son equipos de fácil operación y sin el uso de energía eléctrica por lo cual no requiere estar atado a una fuente por lo que lo hace transportable.

**Desventajas:** Este modelo de extracción emplea temperaturas que hacen que los compuestos de las plantas se desintegren en el proceso. Los tiempos para completar la extracción son considerablemente largos bajando la calidad del aceite, además de trabajar con cantidades mínimas de producto por lo que no es recomendable para producciones a escala [13].





**Figura 12** Diagrama de hidrodestilador [2]

### c) Maceración

Método aplicado a la extracción de la esencia de las semillas de almendras, bulbos y cortezas de diferentes especies con esencias de aromas fuertes y amargos. El agua a temperatura separa los aceites esenciales por la unión de los componentes de carácter glicosilados de los componentes más volátiles [13].

### d) Por solventes

Un método para la extracción de productos, pero con coloración distintiva, estables y con especial énfasis en las características de un aceite esencial. El proceso trabaja 70 kPa de presión con diversos solventes que pueden ser orgánicos e inorgánicos que al separarse dan como resultado diversos compuestos según la afinidad que se establezca con el solvente aplicado [13].

### e) Prensado

Método muy práctico y antiguo que consiste en el aplastamiento del material vegetal, este puede ser de tipo hoja, cascara de fruta, tallos o raíces de una misma especie. Las moléculas que contienen el aceite esencial estallan debido a la fuerte presión dando lugar al escurrimiento del fluido. Para el almacenaje del aceite se usa una esponja de alta absorción con el fin de recolectar la mayor cantidad de aceite. Una desventaja del método es que no siempre se extrae toda la cantidad de aceite de la planta y el desperdicio es alto [13].

### 1.7.10 Fluidos

Conocida como una sustancia que no posee una forma definida ni propia por lo que copia la forma del contenedor donde se encuentra en reposo. Un fluido homogéneo tiene la capacidad de ordenar sus partículas sin verse afectado por lo cual permite moverse libremente. En cuanto a su densidad aplica el concepto general el cual es la cantidad de masa partida entre la unidad de volumen del fluido en  $\text{kg/m}^3$ . Actualmente son consideradas tres tipos de fluidos: [14]

- **Líquido:** Fluidos que poseen muy baja compresibilidad. Por ejemplo, el agua.
- **Gas:** Fluidos con alta compresibilidad. Por ejemplo, el aire.
- **Plasma:** Una parte de las partículas que lo componen poseen una carga eléctrica por tanto pueden interactuar con el medio electromagnético. Como ejemplo la atmosfera solar [14].

### 1.7.11 Viscosidad

Proveniente del latín viscum (muérdago), viscosidad es la propiedad física que posee un fluido de resistirse a la deformación provocadas por esfuerzos cortantes externos. Internamente se produce el choque de partículas las cuales se mueven a distintas velocidades y resistiéndose al movimiento. Existen dos tipos de viscosidades que son:

- **Dinámica:** Resultado de la relación del esfuerzo cortante con la velocidad y es la resistencia que presentan las moléculas de un fluido con el propósito de mantenerse agrupadas.
- **Cinemática:** El cociente obtenido de la viscosidad dinámica con la densidad del fluido

### 1.7.12 Aceite esencial

Producto obtenido a partir del proceso de destilación a base de agua o vapor de agua mediante la aplicación de temperatura al cuerpo orgánico de una especie aromática. Dicha sustancia extraída contiene terpenos, cetonas, esteroides, aldehídos y alcoholes según lo describe Robert Tisserand, un educador y experto en el arte de los aromas como terapia en su libro El arte de la aromaterapia. Los aceites esenciales también poseen propiedades volátiles biológicas provenientes de las plantas taxonómica y sus

compuestos de carbono, hidrogeno y oxígeno; el producto el cual es usado para diferentes aplicaciones que se detallaran más adelante, se extrae por acción de los órganos secretores de la especie floral que principalmente son las células secretoras, tricomas glandulares (pelos glandulares) y las células epidérmicas [1].

El clima y horas del día genera cambios en la composición del aceite contenido dentro de la planta; estas pueden ser: la cantidad de energía solar recibida por la planta, los nutrientes contenidos en el suelo, la latitud y altitud del lugar donde crece la flora y la temporada en la que se efectúa el corte de la planta o la cosecha. En ocasiones pueden existir cantidades de hasta 10% y en otras únicamente 0.01% de aceite extraído que no solo pueden ser afectadas por los parámetros descritos anteriormente sino también por el método de extracción aplicado [15].

#### **a) Eucalipto**



**Figura 13** Eucalipto [16]

Nombre científico: *Eucalyptus globulus* Labill.

Planta arbolea que puede alcanzar alturas de 80 metros de su tronco principal, sus hojas y flores desprenden el aroma característico que por años se ha usado para aliviar problemas respiratorios al ser una planta expectorante, antiinflamatoria y descongestionante. Con la extracción de su aceite esencial se puede preparar infusiones, vapores, fabricar jarabes y puede ser combinado con diversas plantas para aumentar su efectividad. [17]

En la Tabla 2 se muestra las propiedades físicas más importantes para la industria del eucalipto.

**Tabla 2** Propiedades del eucalipto [19]

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Rendimiento del AE	0.8 %
Densidad a 20°C	0.9 g/ml
Índice de refracción 20°C	1.464
Rotación óptica 20°C	0 a +10°
Soluble en etanol	Si

### **b) Romero**



**Figura 14** Romero [17]

Nombre científico: *Rosmarinus officinalis*.

Planta aromática que brinda propiedades de sabor a comidas por el aroma de sus hojas sin embargo al obtener el aceite esencial se puede realizar una gran variedad de aplicaciones como esencia para baños de cajón y de tina, preparar infusiones para aliviar dolores de cabeza, shampoo para el crecimiento y prevención de la caída del cabello debido a sus compuestos de terpenos, flavonoides y ácidos fenólicos. [16]

### c) Menta



**Figura 15** Menta [18]

Nombre científico: *Mentha spicata*.

Conocida también como toronjil de menta, menta piperita o hierbabuena que es una especie usada para acelerar el proceso digestivo, apaciguar sensaciones de náuseas mediante infusiones. En las artes culinarias también es muy acogida por darle características sabores a diferentes platillos y en la medicina por sus cualidades analgésicas, afrodisiacas y antiespasmódicas [18].

En forma de té aporta con los siguientes beneficios:

- Reducir colesterol
- Dolores de cabeza (jaqueca)
- Cólicos menstruales
- Dolor abdominal
- Congestiones por resfríos (nasal y pulmonar)
- Falta de sueño

#### **1.7.12.1 Aplicaciones de AE**

Las vías seguras para la aplicación y absorción de los diferentes tipos de aceites esenciales se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3** Aplicación segura de aceites esenciales [1]

APLICACIÓN	MEDIO	VEHÍCULO	OBJETIVOS PRINCIPALES
<b>VÍA EXTERNA</b>			
Inhalación Difusión Pulverización Vahos	Respiratorio	Aire Difusor Spray Stick nasal	Disfunciones emocionales Disfunciones ORL Cuidados paliativos
Dermal	Cutáneo	Aceito vegetal u oleomacerao Gel Cremos Hidrolatos	Disfunciones osteomusculares Disfunciones dermatológicas Estética/Cosmética natural Higiene Tratamiento infantil (hidrolato)
<b>VÍA INTERNA</b>			
Ingestión oral	Digestivo	Fórmulas terapéuticas* Miel Aceito vegetal Píldoras gliceras	Infecciones del aparato digestivo y respiratorio
Genitales	Genitourinario	Fórmulas terapéuticas*	Infecciones ginecológicas y urinarias
Oído		Aceito vegetal u oleomacerao	Infecciones de oído
Ojos		Hidrolatos	NO PERMITIDO EL ACEITE ESENCIAL
*Oleos, píldoras gliceras, jarabes, solucioneis. Siempre bajo prescripción médica.			

### 1.7.13 Quemadores

Son los equipos encargados de entregar el calor a una determinada superficie, estos obtienen su potencia de una fuente de energía líquida que por lo general de un gas (gas licuado del petróleo, propano, butano, queroseno, gasolina, diésel) que por su combustión general calor el cual es redireccionado por los quemadores y distribuida para mayor área de calentamiento. En el mercado existen varios modelos y configuraciones de quemadores según su aplicación; entre los más útiles para el calentamiento de tanques a presión tenemos los siguientes:

#### a) Atmosférico de rampa lineal

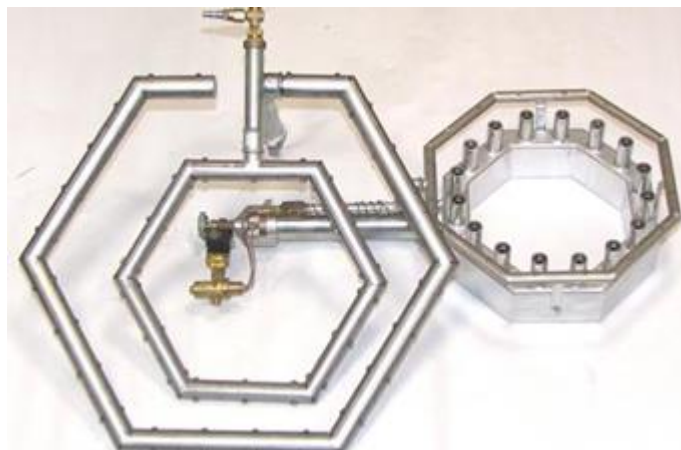
Poseen una forma lineal con numerosos agujeros por los cuales sale la llama. Se lo puede acomodar en forma lineal o en paralelo como se muestra en la Figura 16. Gracias a su adaptación con todo tipo de gas sus aplicaciones son variadas como a manera industrial, para cintas transportadoras, para hornos e incluso cocina [19].



**Figura 16** Atmosférico de rampa lineal [19]

#### **b) Atmosférico con rampa geométrica**

Este tipo de quemadores tienen la característica de poseer formas geométricas por lo general hexagonal (a) y octogonal (b) según la Figura 17, los cuales varían según su potencia a entregar. Fabricados en acero inoxidable con diámetros de hasta 1.5 metros y sus aplicaciones son amplias con respecto al campo industrial como el calentamiento de tanques de acero inoxidable y cobre [19].



**Figura 17** Quemador de rampa geométrica. (a) Hexagonal y (b) Octogonal [19]

### c) Atmosférico circular

De principal aplicación industrial por sus grandes volúmenes y capacidades caloríficas que van desde los 10 hasta los 200 kW. Pueden ser acoplados en conjunto a más quemadores para mayor potencia como se ve en la Figura 18. Usados para el calentamiento de tanques de acero inoxidable, cobre y acero. además de poder automatizarlos para su encendido o apagado [19].

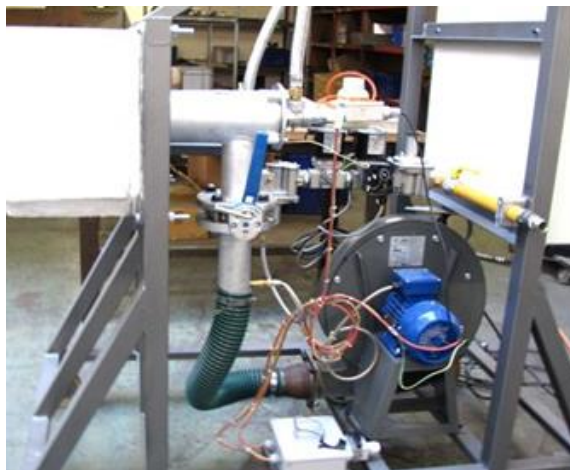


**Figura 18** Atmosférico circular [19]

### d) Aire forzado industrial

En la Figura 19 se ve la instalación de un quemador de este tipo, la cual conlleva un costo mayor tanto por armado y precio del equipo. Son capaces de lograr potencias de hasta 800 kW con diferentes formas de llama (corta, larga, llana).

Usado para el calentamiento de fraguas, hornos de fundición, calderas y más equipos de uso en la metalurgia [19].



**Figura 19** Aire forzado industrial [19]




## 1.7.14 Combustible

### 1.7.14.1 Gas licuado del petróleo (GLP)

Es un combustible derivado del petróleo crudo en la etapa de refinación. Para obtenerlo se lo somete a un proceso de compresión y enfriado donde logra condensarse para cambiar su fase a líquida en cual es transportado. [20] Es relativamente económico con poca contaminación de (NOx y CO) y rápido cambio de fase al momento de salir de su contenedor (líquido a gaseoso) [21]. Sus propiedades se detallan en la Tabla 4.

**Tabla 4** Propiedades GLP [21]

Detalle	Ítem	Imagen
Gas	GLP	
Poder calorífico ( <i>Pc</i> )	6.35 kcal/l	
Volumen ( <i>V</i> )	30 kg	
	55.5 litros	
Características	<ul style="list-style-type: none"><li>- Olor característico para detectar fugas.</li><li>- Cambia de fase fácilmente, líquido a vapor.</li><li>- No forma hollín al combustionar perfectamente con el oxígeno.</li><li>- No afecta el sabor ni olor de los alimentos.</li><li>- Es relativamente económico y fácil de adquirir.</li><li>- Alto rendimiento.</li></ul>	

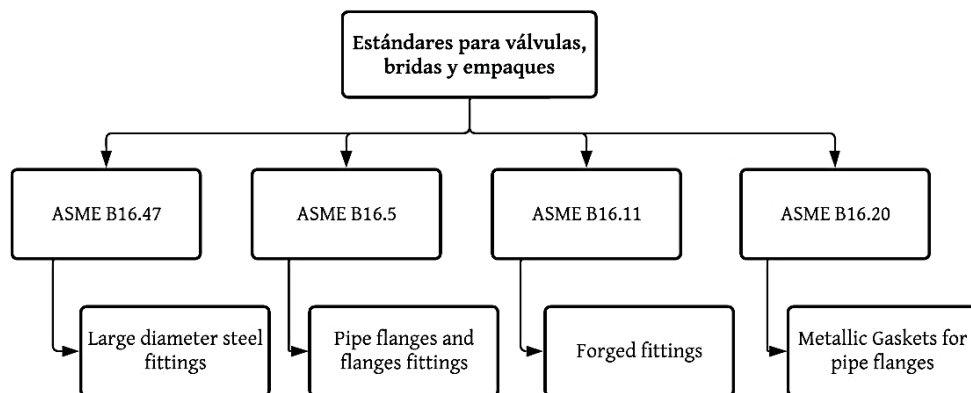
### 1.7.15 Código ASME sección VIII

La norma ASME inició en 1880 por ingenieros mecánicos. Fijó sus actividades investigativas para la creación de medidores de flujo, propiedades de los metales, efecto de la temperatura, tablas de vapor, entre otros. Todo eso desde el año 1909.

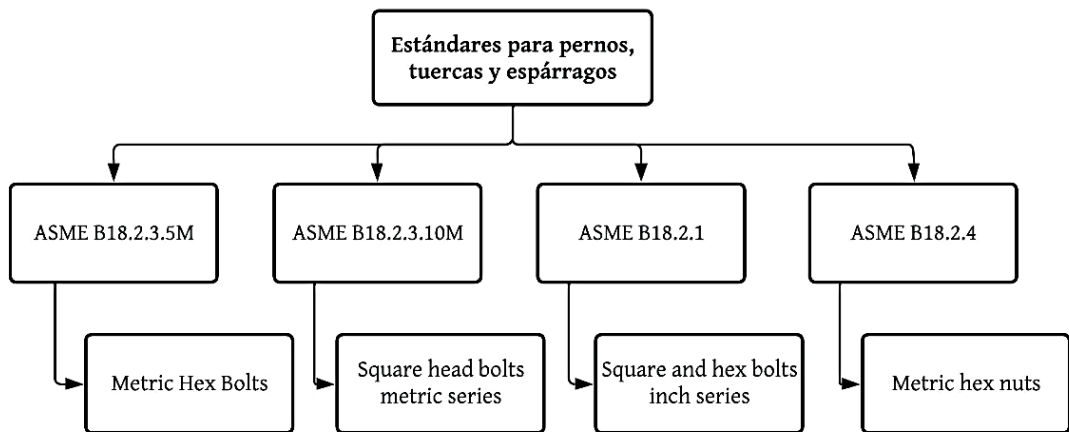
Para el año de 1911 la institución formó una delegación para la planificación de un estándar en la fabricación de recipientes a presión, este estándar tiene como objetivo cubrir las necesidades básicas de fiabilidad y seguridad dentro de la industria. Con el pasar de los años cada estándar se ha ido actualizando a la par con las nuevas tecnologías.

En la actualidad American Society of Mechanical Engineers (ASME) tiene 36 divisiones y 3 instituciones, cuenta con 12500 miembros y organiza alrededor de 30 conferencias y 200 cursos para actualización de conocimientos en la industria cada año desde su fundación [22].

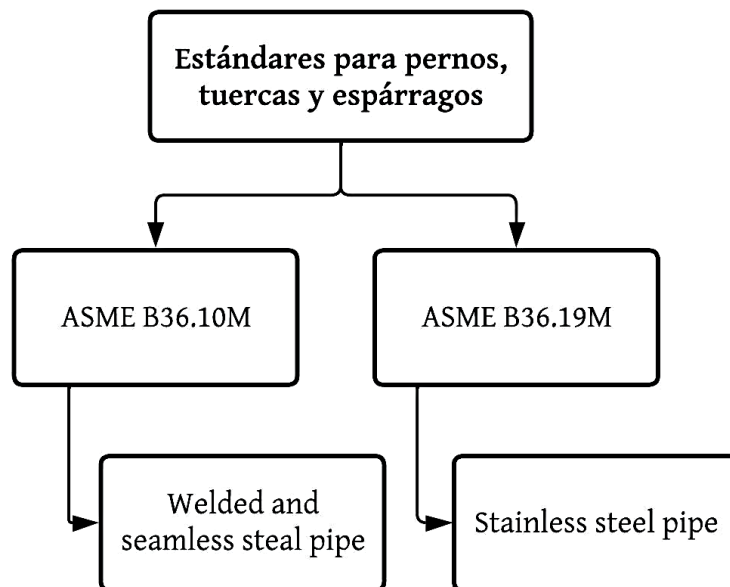
#### a) Códigos complementarios de ASME



**Figura 20** Normas complementarias para accesorios [22]



**Figura 21** Normas complementarias para pernos [22]



**Figura 22** Normas complementarias para tuberías [22]

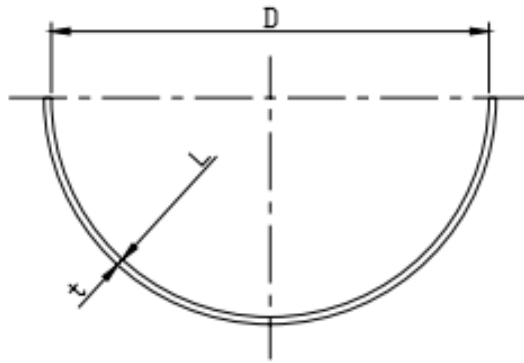
## b) Recipiente a presión basado en la norma ASME VIII División 1

### Cuerpo

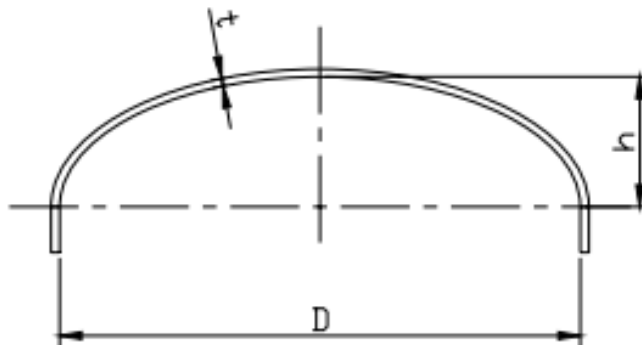
El cuerpo de los recipientes a presión puede ser cilíndrico o esférico dependiendo de su uso, existen tolerancia que la norma establece como aceptables para cualquiera de las dos formas de fabricación. En el apartado UG-80 (a) de la norma para calderas de potencia indica que el 1% del diámetro nominal no de ser superior a la diferencia entre el diámetro interno mínimo y máximo en cualquier sección transversal [22].

## Cabezas

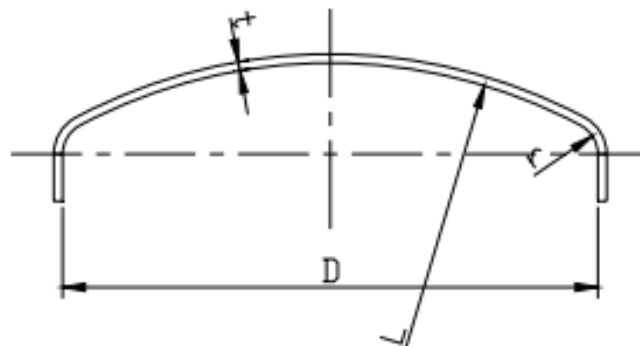
Es de las partes principales de un cilindro a presión puesto que va unido al cuerpo del recipiente, existente varios tipos de cabezas, entre los más utilizados están hemisféricas Figura 23) elipsoidales Figura 24), toriesféricas Figura 25), cónicas Figura 26), etc. También existen cabezas planas las cuales no son recomendadas por su poca resistencia a la presión [22].



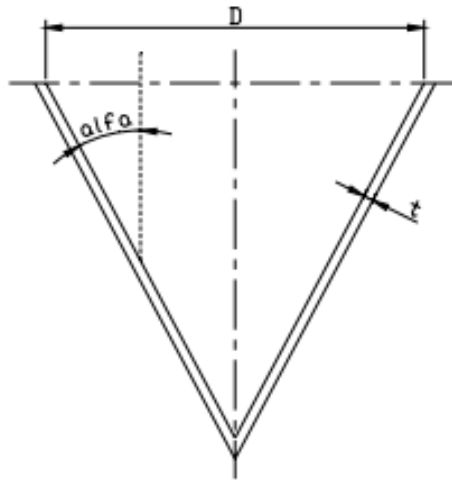
**Figura 23** Sección transversal para cabezas hemisféricas [22]



**Figura 24** Sección transversal para cabezas elipsoidal [22]



**Figura 25** Sección transversal para cabezas toriesférica [22]



**Figura 26** Sección transversal para cabezas cónicas [22]

### **Brida, accesorios y tubería**

Las uniones en las calderas son de gran importancia a la hora de su funcionamiento, las bridas pueden estar conectadas a las cabezas y a su vez a las tuberías, puede existir tramos de tubería que lleven fluido de un sitio a otro, dependiendo del tipo de proceso al que se someta el recipiente a presión.

El código ASME sección VIII División 1 recomienda varias normas complementarias para la selección de bridas, tuberías y accesorios, todos estos son estandarizados según varias normas internacionales. Cada accesorio para utilizar tendrá un estampado de normalización, esto garantizará que el artículo seleccionado cumple con los estándares del código.

### **Soldadura y juntas soldadas**

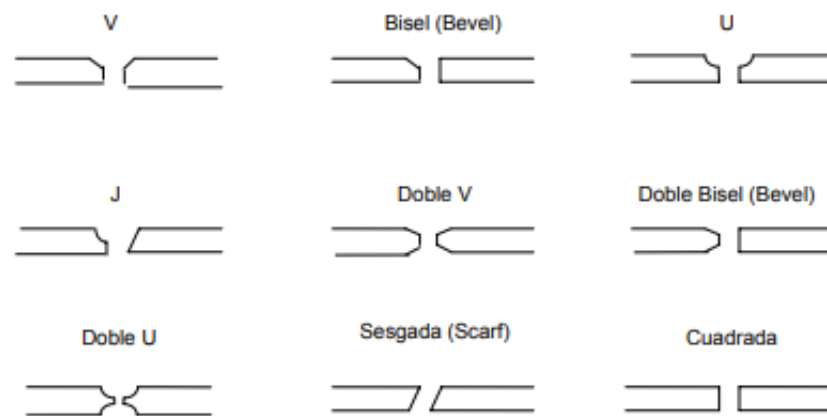
Existen diferentes trazos que definen o representan de forma visual una junta soldada, esta representación gráfica se la utiliza en planos de diseño para que el operario identifique el proceso de soldadura y tipo de junta soldada.

Para complementar el proceso de construcción la junta soldada debe describir el tipo de junta, la posición de los elementos, el proceso de soldadura a ser utilizada y los materiales, existen 5 tipos básicos de junta soldada [22].

- Junta de reborde
- Junta de esquina

- Junta a tope
- Junta en T
- Junta de traslape

En la Figura 27 se muestra los diferentes tipos de ranuras para soldadura, dependiendo de la geometría que presenta su sección transversal. Estas son en J, U, V, cuadrada, bisel, etc. Y estas a su vez pueden ser de tipo dobles o sencillas, sujetándose a cuantas pasadas se realiza ya sea por un lado u otro.



**Figura 27** Sección transversal para tipos de juntas a tope [22]

Adicional a esto en la Figura 28, ANSI (American National Standards Institute) junto a la AWS (American Welding Society) acepta la siguiente simbología de representación gráfica de juntas soldadas como comunes:

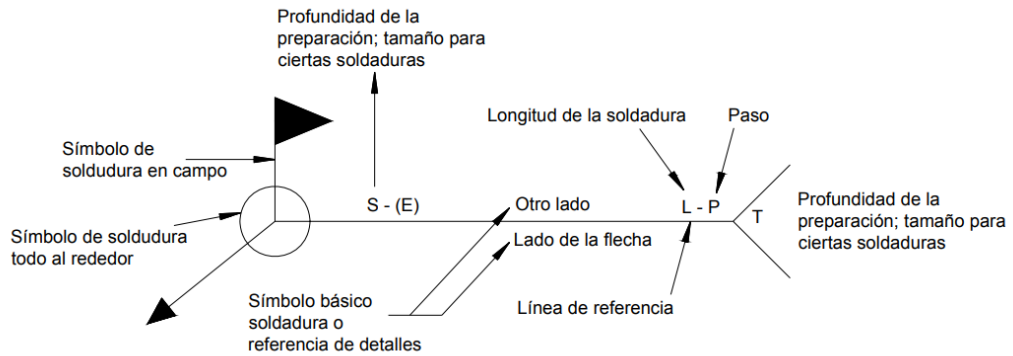
Ranura							
Cuadrada	Sesgada	V	Bisel	U	J	Abocinado en V	Abocinado en bisel

Filete	Tapón o botón	Pernos	Puntos	Costura	De o en el respaldo	Recubrimiento	Borde o pestaña

**Figura 28** Símbolos básicos de soldadura [22]

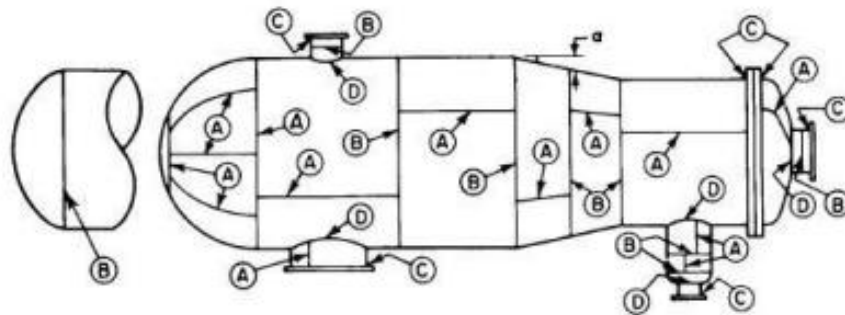
La representación gráfica de una junta soldada en planos debe tener información sobre el proceso de soldadura, el tipo de junta y características técnicas y de ubicación. Todas las características de una simbología de soldadura se lo representan de la manera mostrada en la Figura 29.



**Figura 29** Símbolo de soldar y localización estándar de sus elementos [22]

### c) Juntas soldadas







El código ASME sección VIII división 1 indica las categorías de las juntas y su ubicación para recipientes a presión. La Figura 30 expresa de mejor manera las secciones.



**Figura 30** Ubicación de juntas soldadas [22]

En la sección UW-9 del código ASME que se está utilizando describe el diseño de juntas soldadas aceptables para recipientes a presión, así mismo, en la Tabla UW12 (Tabla 5) del código ejemplifica el tipo de las juntas soldadas utilizadas.

**Tabla 5** Tipos de juntas [22]

Tipo	Descripción	Junta soldada
<b>Tipo 1</b>	Junta a tope con 2 o más pasadas. En la parte interna y externa de la superficie se colocará la misma cantidad de material de deposición.	
<b>Tipo 2</b>	Junta a tope con placa de apoyo. Esta placa se debe retirar una vez finalizado el proceso de soldadura.	 <p>Sólo para juntas circunferenciales</p>
<b>Tipo 3</b>	Junta a tope sin placa de apoyo de una sola pasada.	
<b>Tipo 4</b>	Junta solapada con doble filete.	
<b>Tipo 5</b>	Junta solapada con filete simple y soldadura de tapón.	
<b>Tipo 6</b>	Junta solapada de un solo filete y con ausencia de soldadura de tapón.	



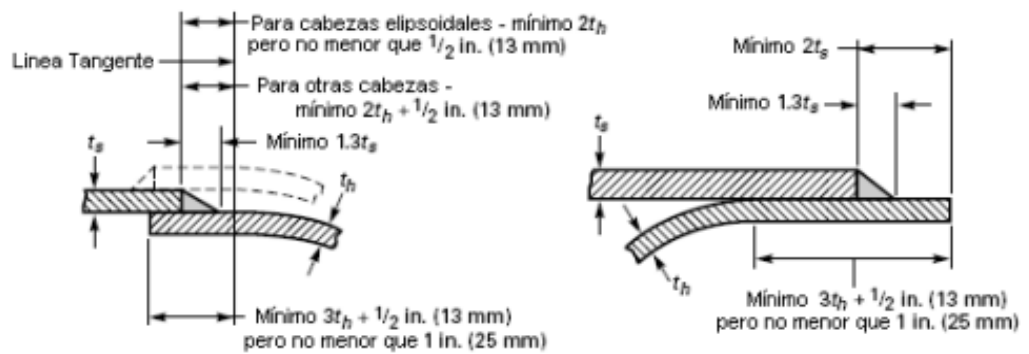
## Uniones soldadas en recipientes a presión

El código ASME para el diseño de recipientes a presión presenta en el apartado UW-13 con ejemplos gráficos aceptables de juntas soldadas que se muestran en la Figura 31, específicamente entre la cabeza y el cuerpo.

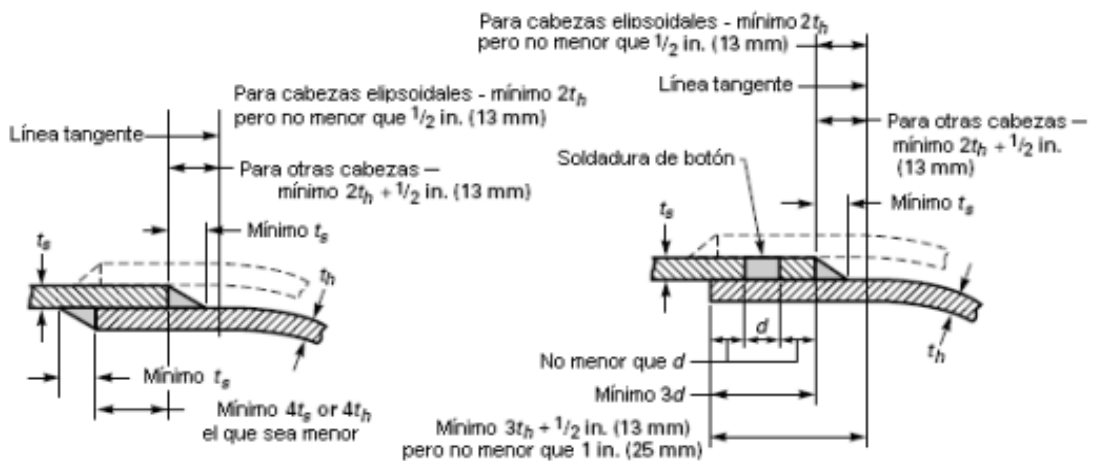
Donde,

$t_h$ : Espesor nominal de la cabeza

$t_s$ : Espesor nominal del cuerpo

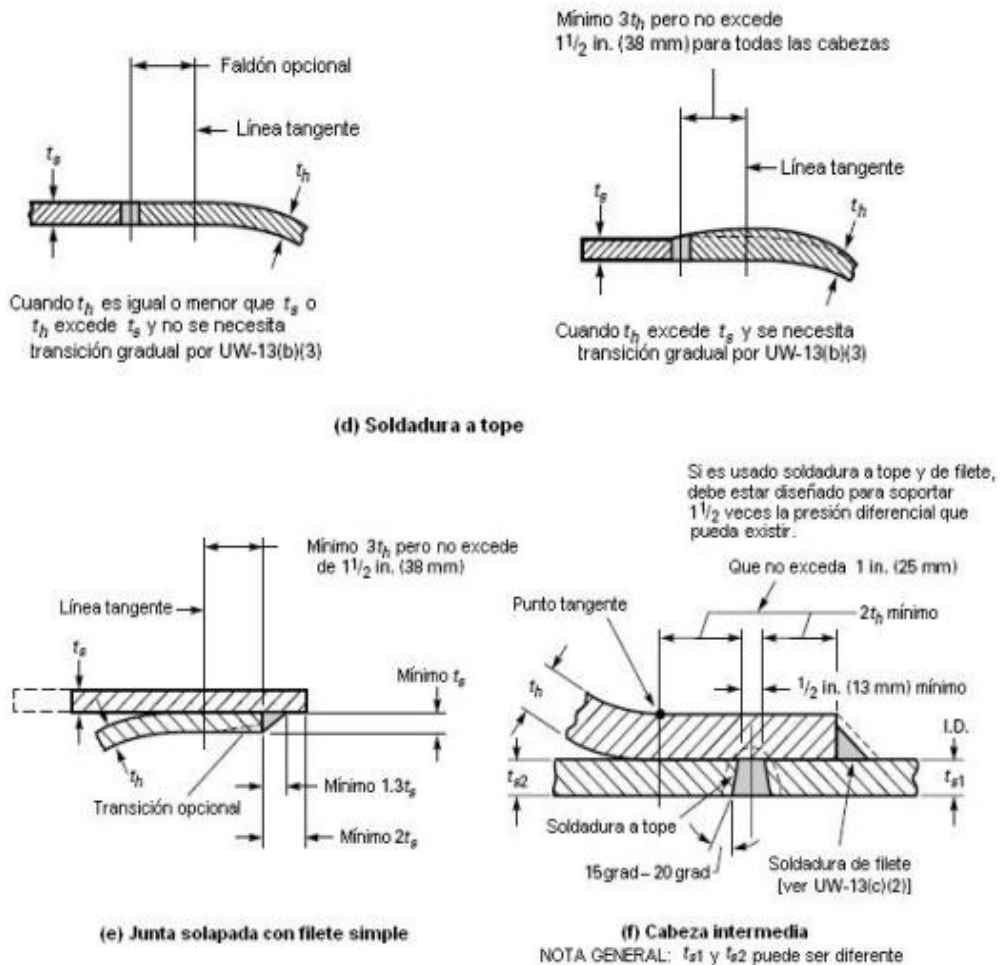


(a) Junta solapada con filete simple



(b) Junta solapada con doble filete

(c) Junta solapada con filete simple y soldadura de botón



**Figura 31** Cabezas unidas al cuerpo [22]

#### d) Reglas necesarias

Basado en el código ASME Sección VIII, División 1, 2019. Reglas para la Construcción de Recipientes a Presión.

**Diseño:** UG-16 General, consideramos las reglas de diseño del Apéndice 46 del código, el literal (b) donde manifiesta el espesor mínimo de construcción y (c) tolerancia de la placa; especificando que se debe tomar las condiciones de diseño críticas esperadas a trabajo normal. Muestra también las ecuaciones adecuadas para cada criterio.

**Materiales:** En combinación UG-18 donde indica el uso de la Subsección C del código. Los valores de temperatura nos indica en el apartado UG-20 Diseño de Temperatura del cual hacemos uso del literal (a) máxima y (b) mínima.

**Presión:** El UG-21 nos indica el diseño basado en la presión de la de cual tomamos en cuenta el apartado UG-98 Presión Máxima de Trabajo Primitiva del cual hacemos uso de los literales (a), (b) y (c).

**Refuerzos:** En los apartados UG-47,48 y 50 muestra las ecuaciones con las cuales realizar el cálculo y determinación de los elementos de sujeción y ajuste como pernos y su ubicación adecuada.

**Fabricación:** UG-75 indica el modo de fabricación los cuales involucra el análisis de materiales, la reparación de defectos y construcción del cuerpo. En la Subsección B, Parte UW indica los requerimientos mínimos para la soldadura de recipientes a presión como tipos de junta, eficiencia de juntas, pruebas a soldadores, limpieza y test en caso de ser necesarios.

#### **e) Prueba hidrostática**

Una prueba hidrostática es necesaria cuando una caldera es nueva o cuando una de segunda es reinstalada, esta iniciará una vez se haya terminado la instalación del recipiente a presión en el lugar de trabajo. El objetivo de esta evaluación a posibles fugas es comprobar la hermeticidad del recipiente.

El alivio de tensiones en el material es uno de los beneficios de la prueba hidrostática, así como una mejora en el factor de seguridad en el cordón de suelda. Las posibles fallas como perdidas de presión o fugas de fluido son descubiertas por observación. La presión a la que el recipiente es sometido durante la prueba es 1.5 más de la presión máxima de diseño [22].

#### **1.7.15 SaveWater**

Una empresa ecuatoriana ubicada en la ciudad de Latacunga, Cotopaxi que se dedica al tratamiento de agua potable a nivel industrial y municipal. La empresa cuenta con 10 años de experiencia y personal capacitado para el desempeño de las actividades laborales. SaveWater también cuenta con un laboratorio dedicado para el análisis a nivel químico de las aguas provenientes de cualquier fuente [23].

## Actividades

- Control y supervisión de sistemas de tratamiento de aguas,
- Análisis químico y biológico de aguas,
- Capacitación y manejo de sistemas de tratamiento,
- Venta de insumos químicos,
- Venta de equipos de control y monitoreo.



**Figura 32** Logo ingeniería SaveWater [23]

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

En este proyecto técnico se ven contempladas ejecutar dos fases principales las cuales son dependientes una de la otra. La primera fase consiste en el diseño teórico de la maquina mediante normativa, cálculos, simulaciones y modelos 3D. La segunda fase conlleva la construcción del diseño obtenido en la fase uno con lo cual implica seguimiento de planos, normativa de construcción y pruebas de funcionamiento. Con los modelos 3D obtendremos resultados más aproximados al producto final que deseamos obtener; así también como la reducción de costos de construcción y tiempo en caso de no acertar con el diseño.

#### 2.1 Materiales

Se muestra los medios físicos necesarios para lograr completar el proyecto en la parte de diseño, construcción y análisis de resultados.

##### 2.1.1 Acero inoxidable

Aleación de acero con contenido de cromo (Cr) en su composición química del 12% para darle su característica propiedad de resistencia a la corrosión por ello este metal es el más usado en la industria alimenticia y quirúrgica. Su adquisición será en puede tubería de dimensiones normadas y también en planchas de espesores normados como se ve en la Figura 33. Sus propiedades se detallan de mejor manera en el ANEXO 1.



**Figura 33** Planchas de acero inoxidable [24]

### 2.1.2 Acero estructural

Acero denominado por la ASTM como A36, el cual se usará para la fabricación de la estructura metálica que conformará la máquina. Este material proporciona una gran facilidad de soldadura y resistencia gracias a su composición química. En la Tabla 6 se detallan las propiedades mecánicas el material brinda.

**Tabla 6** Propiedades mecánicas A36 [26]

Propiedades Mecánicas		Notas
Resistencia a la tracción, MPa (ksi)	400-550 (58-80)	Placas de acero, formas y barras
Limite elástico (Esfuerzo de fluencia), MPa (ksi), $\geq$	250 (36)	Espesor $\leq$ 200mm (8 pulg.)
	220 (32)	Espesor de placas de acero > 200mm (8 pulg.)
Elongación, %, $\geq$	20	Placas y barras en 200 mm (8 pulg.)
	23	Placas y barras en 50 mm (2 pulg.)
Dureza Brinell, HBW	119-162	Basado en la conversión de resistencia a la tracción
Módulo de elasticidad, GPa (ksi)	200 ( $29 \times 10^3$ )	–
Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J (ft·lbf), $\geq$	27 (20)	Formas estructurales, ubicación alternativa del núcleo
Módulo de corte, GPa (ksi)	79.3 ( $11.5 \times 10^3$ )	–
Fy del acero A36 (Limite de fluencia), MPa (ksi), $\geq$	250 (36)	–

## 2.2 Equipos

### 2.2.1 Soldadura GMAW

Equipo eléctrico de tipo soldadura a gas y arco eléctrico (GMAW); se usará para unir las partes de acero estructural por medio de cordones de soldadura los cuales son de electrodo E6011. En la Figura 34 se muestra el equipo de soldadura que se usará para el propósito, el cual es de la marca Lincoln Electric.



**Figura 34.** Soldadora eléctrica.

### 2.2.2 Soldadura GTAW

Por las siglas Gas-shielded Tungsten Arc Welding es el proceso de soldadura que interviene un electrodo de tungsteno, durante la formación del charco de soldadura actúa un gas inerte a manera de gas de protección. Este proceso es el usado para la soldadura de las partes constituidas por acero inoxidable de la maquina extractora por la calidad de junta que genera. La Figura 35 muestra el equipo de soldadura GTAW.



**Figura 35** Equipo GTAW [25]

### 2.2.3 Varoladora

Equipo mecánico necesario para conformar las curvaturas a tubería recta dando formas de espirales y conos. Para el proyecto se necesitará equipos de los dos tipos ya que se necesita la construcción de un serpentín para el condensador y también para darle su forma cónica a la tapa del cilindro contenedor. En la Figura 36 se muestra la varoladora de tubería.



**Figura 36** Varoladora

#### **2.2.4 Manómetro**

Dispositivo necesario para conocer la presión de trabajo del equipo la cual debe mantenerse en la ideal para el buen funcionamiento. En la Figura 37 se puede observar el dispositivo que realizará el trabajo mencionado, instalado en la tapa del tanque contenedor de la mezcla.



**Figura 37** Manómetro



### 2.2.5 Termómetro

Dispositivo que muestra valores de temperatura en tiempo real de un proceso. Usaremos un termómetro con rango de medición de 0 – 550 °C (0- 1050 °F) como se ve en la Figura 38; con el cual controla los valores de temperatura de trabajo correctos para el proceso.



**Figura 38** Termómetro

### 2.2.6 Remachadora

Dispositivo útil para el ajuste y sellado completo de tuberías con lo cual se asegura que no existan fugas al momento del paso del fluido a presiones elevadas. En la Figura 39 se muestra la mechadora que se usará para el propósito.



**Figura 39.** Remachadora.

### 2.2.7 Torquímetro

Equipo de medición de la fuerza de torque que requiere o que es permisible para el ajuste de tuercas, tornillos o cualquier accesorio de ajuste. En nuestro caso se hizo uso del torquímetro proporcionado por la empresa SaveWater de la marca Toptul de ejecución manual para el efecto.



**Figura 40** Torquímetro

### **2.2.8 Balanza industrial**

Para el pesado de la cantidad necesario de material vegetal por proceso se hizo uso de la balanza industrial la cual está a disposición en la empresa SaveWater. La balanza es de la marca Tecnipeso y tiene capacidades de medición hasta 300 kg con posibilidad de conversión de unidades a libras.



**Figura 41** Balanza industrial

### 2.2.9 Quemador industrial

La fuente de energía con la cual se podrá iniciar el proceso de extracción de los aceites. Un quemador industrial será el encargado de proporcionar la energía calorífica al proceso. En la Figura 42 se ve el modelo de quemador que usará.



**Figura 42** Quemador industrial

### 2.2.10 Embudo separador

Instrumento químico con la función principal de separación de mezclas con características heterogéneas que no son naturalmente inmiscibles entre si como el agua y el aceite. El principio del embudo es almacenar el fluido más denso en el fondo mientras que el segundo fluido cae. Mediante la válvula se sigue eliminando el fluido no deseado. Para nuestro propósito se usó el embudo mostrado en la Figura 43 de la marca Lab Glas, Boro 3.3 de 100 ml de capacidad de emulsión.



**Figura 43** Embudo separador

En la Tabla 7 se enlista a manera de resumen general los materiales necesarios para la construcción de la extractora de AE de los cuales se conoce su código, dimensiones requeridas según el diseño y la cantidad de cada elemento.

**Tabla 7** Resumen de materiales

<b>N°</b>	<b>ELEMENTO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>DIMENCIONES [mm]</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Plancha de acero inoxidable A-304	AISI 304	1220x2440	1
2	Quemador de tubo redondo en espiral	QE	-	1
3	Embudo separador de vidrio	ES	100 ml	1
4	Tubo cuadro inoxidable 40x40mm	TI	6000	1
5	Curva normal con rosca hembra	CRM	3/4"X1/2"	1
6	Tubo hembra normal	THN	1/2"	1
7	Reductor	R	3/4"X1/2"	1
8	Llave de paso 2 cuerpos	LP	1/2"	1
9	Cuello de ganso	CG13	1/2"	1
10	O'ring	OR	-	12
11	Empaque de chaucho	ECH	42mm	2
12	Sellador industrial de empaques	SdE	-	1
13	Perno inoxidable	PI	3/4"	8
14	Tuerca mariposa	TM	3/4"	8

### 2.3 Métodos

En el presente capítulo se tomarán en cuenta los parámetros principales para el diseño de un recipiente a presión, materiales, normativa, dimensiones con lo cual posteriormente se procederá a la construcción de este y finalmente los métodos con mayor aceptación en cuanto a la realización de un trabajo técnico.

En la actualidad existen diferentes métodos para la destilación de aceites como se mencionaron el Capítulo I, por tanto, es importante elegir el método que más se adapte a las necesidades del consumidor, mayor eficiencia, operación y apartado económico.

### **2.3.1 Método científico**

El trabajo técnico tiene sustento en el método científico el cual aporta información para la construcción del destilador de AE y manejo del equipo. Para esta sección se tomaron a consideración modelos ya construidos y funcionales por parte de diferentes autores. Las características más sobresalientes de dichos modelos han servido de base para el diseño y dando pie a la mejora en cuanto a material, eficiencia y costo.

### **2.3.2 Método cuantitativo**

Con el método cuantitativo evaluamos un porcentaje grande información numérica que aportan para el diseño del equipo y que al finalizar con la evaluación se tiene una idea clara de cómo va a ser el diseño final y de que materiales va a ser fabricado.

### **2.3.3 Método bibliográfico**

En cuanto al apartado investigativo tiene sustento en información proveniente de fuentes confiables y certificados como libros, artículos científicos, tesis de grado, códigos y normativas tanto nacionales como extranjeras las cuales han sido una combinación de ediciones físicas y digitales. En conjunción estos documentos aportan de gran información que aporta mayor confiabilidad al trabajo técnico.

### **2.3.4 Método selección de alternativa**

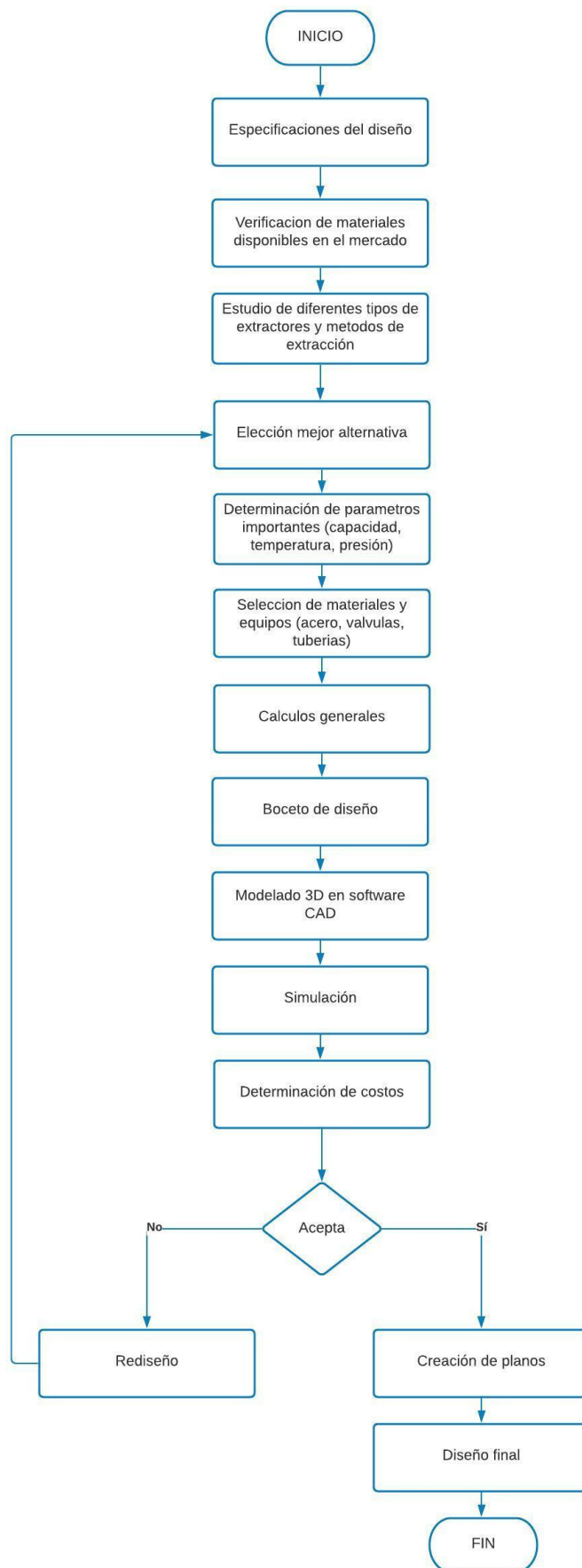
Para la selección de una alternativa que en el caso es la mejor alternativa para la destilación de AE, se toma a consideración el método de “Criterios Ponderados”. El método compara las diferentes alternativas expuestas dándoles una determinada puntuación. Cada alternativa será calificada de acuerdo con sus características ya sean beneficiosas o perjudiciales para la investigación. Al final se suman los valores acumulados de cada alternativa añadiendo el valor de una unidas para de esta manera evitar puntuaciones de cero.

**Tabla 8** Puntuación para Criterios ponderados

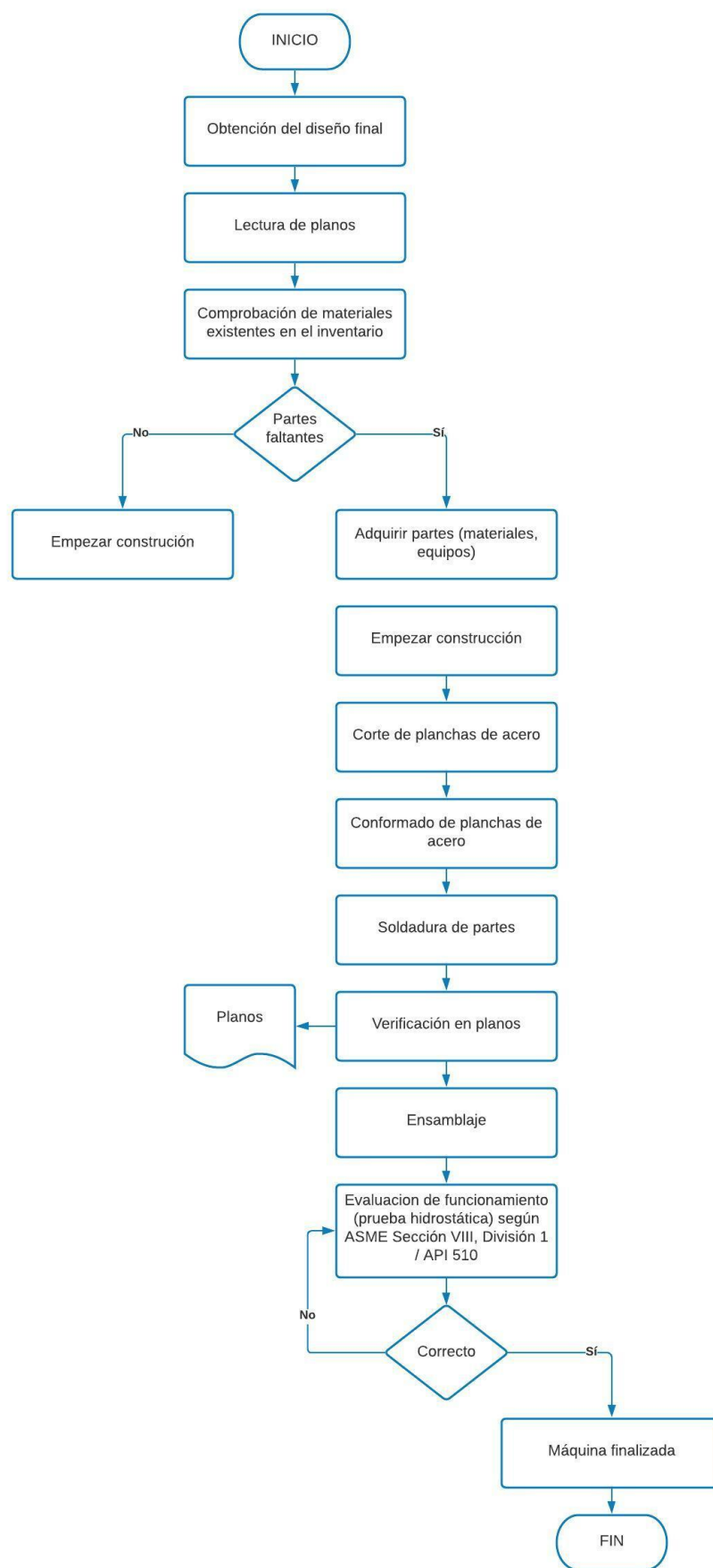
<b>Puntuación</b>	<b>Descripción</b>
0	Al obtener una solución de filas menor a la solución de las columnas.
0.5	Al obtener una solución de filas igual a la solución de las columnas.
1	Al obtener una solución de filas mayor a la solución de las columnas.

#### **2.4 Diagrama de flujo para los procesos**

Se presenta diagramas de flujo para los procesos más importantes en la construcción de la maquina extractora de AE. En la Figura 44 se muestra los procesos necesarios para lograr llegar a la obtención del diseño final de la máquina y en la Figura 45 se muestra los procesos a cumplir antes de obtener la maquina construida y lista para su funcionamiento.



**Figura 44** Diagrama de procesos para la fase de diseño



**Figura 45** Diagrama de procesos para la fase de construcción



## 2.5 Parámetros de diseño

La empresa SaveWater requiere 30 ml de producto final por proceso del cual se parte para dimensionar el tamaño del contenedor principal, condensador, recipiente de recolección, caldera y tuberías. Se sabe también que para optimas características del producto final se debe trabajar a cierta presión y temperatura por tanto se debe considerar para seleccionar los materiales de construcción, dimensiones y espesores permitidos según el código ASME Sección VIII, División 1. En la Tabla 9 se detallan los parámetros y características que debe cumplir la maquina extractora.

**Tabla 9** Parámetros y características de diseño

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Acero recipientes	A304
Metal estructuras	A304/A36
Material vegetal	Eucalipto (Eucalyptus camaldulensis)
Masa máxima de material vegetal	4 kg
Cantidad de aceite por proceso	30 ml
Cantidad mínima de aceite por proceso	24 ml
Presión de trabajo	45 psi
Temperatura de trabajo	40 °C
Rendimiento del AE	80%

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Análisis y discusión de resultados

En esta tercera sección del documento se procede a la elección de la mejor alternativa para la extracción y se mostrarán los cálculos necesarios para el diseño de la máquina destiladora de aceites esenciales los cuales involucran cálculos para la parte del diseño del tanque contenedor, fuente de calor y condensador con el fin de crear el modelo más eficiente y que se mantenga dentro del presupuesto económico.

#### 3.2 Selección de alternativas

**Tabla 10** Resumen atributos de los métodos de extracción

<b>Resumen de métodos de extracción</b>	
<b>Atributos positivos</b>	
<b>Método</b>	<b>Atributos</b>
Arrastre con vapor de agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• Proceso simple e intuitivo de lograr.</li><li>• Garantiza una excelente calidad del aceite resultante por estar libre de solventes.</li><li>• Aplicable a tanto a industrialización como a pequeña escala.</li><li>• Económico.</li><li>• Aplica conocimientos obtenidos en la carrera de Ingeniería Mecánica.</li></ul>
Hidrodestilación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Portables y muy prácticos de instalar.</li><li>• Económicos</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguros y sencillos de poner en marcha.</li> <li>• Bajo consumo de energía.</li> <li>• No requiere calderín para la generación de vapor.</li> </ul>
Maceración	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Óptimo para el uso en semillas de tipo margas.</li> <li>• Extrae el aceite en estado puro, libre de glicosilados.</li> </ul>
Por solventes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de darle coloración al aceite.</li> <li>• Trabaja a presiones y temperaturas bajas.</li> <li>• Separa componentes.</li> </ul>
Por prensado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnica muy conocida y simple.</li> </ul>
<b>Atributos negativos</b>	
<b>Método</b>	<b>Atributo</b>
Arrastre con vapor de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producto final con residuos de agua.</li> </ul>
Hidrodestilación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adquieren coloraciones difíciles de cambiar.</li> <li>• Aroma esencial se combina con un aroma a quemado.</li> <li>• Refinación requerida.</li> </ul>
Maceración	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costoso</li> <li>• Conocimiento especial para operar.</li> </ul>
Por solventes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No tan seguro de usar por riesgos de explosión.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altera composición natural del aceite.</li> <li>• No amigable con el ambiente.</li> <li>• Relativamente costoso.</li> <li>• Requiere solventes.</li> </ul>
Por prensado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No elimina impurezas.</li> <li>• Requiere refrigeración por 240 minutos lo cual hace costoso y tardado.</li> <li>• Almacenamiento a 10°C.</li> </ul>

Características por considerar:

**Tecnología (T):** Debe considerarse un sistema de extracción con diseño actualizado.

**Costo (\$):** Su costo tanto de construcción como de operación debe ser bajo para lograr llegara la producción de AE a menor costo de venta.

**Fabricación (F):** Su fabricación deber ser rápida y fácil, con componentes fáciles de adquirir a buen precio en el país.

**Capacidad (C):** Un equipo que pueda alcanzar hasta 5kg en masa de materia prima por proceso.

**Dimensiones (D):** Se deben ajustar a la capacidad máxima con la que puede trabajar la máquina.

**Mantenimiento (M):** La facilidad y frecuencia con la que se deben realizar mantenimientos de la maquina con el fin de no perder producción ni agregar cargos económicos extras por mantenimiento.

Opciones:

**A1:** Arrastre con vapor de agua

**A2:** Hidrodestilación

**A3:** Maceración

**A4:** Por solventes

**A5:** Por prensado

Evaluación del peso específico de cada característica considerada.

**Tabla 11** Peso específico de las opciones

Característica	T	\$	F	C	D	M	$\Sigma +1$	Ponderación
T		1	1	0,5	1	1	5,5	0,193
\$	1		1	0,5	0,5	1	5	0,175
F	0,5	1		0,5	1	0,5	4,5	0,158
C	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	3,5	0,123
D	1	0,5	1	0,5		1	5	0,175
M	1	1	0,5	0,5	1		5	0,175
Sumatoria							28,5	1

Evaluación del peso específico de cada una de las opciones expuestas para el diseño del equipo.

**Tabla 12** Peso específico para Tecnología

Tecnología	A1	A2	A3	A4	A5	$\Sigma +1$	Ponderación
A1		0	0,5	0,5	0,5	2,5	0,172
A2	0,5		1	0,5	0	3	0,207
A3	0,5	1		0,5	1	4	0,276
A4	0,5	0,5	0,5		0	2,5	0,172
A5	0,5	0	1	0		2,5	0,172
Sumatoria						14,5	1

**Tabla 13** Peso específico para Costo

Costo	A1	A2	A3	A4	A5	$\Sigma +1$	Ponderación
A1		0,5	1	0,5	1	4	0,229
A2	0,5		0,5	1	0,5	3,5	0,200
A3	1	0,5		0,5	1	4	0,229
A4	0,5	0,5	0,5		0	2,5	0,143
A5	1	0,5	1	0		3,5	0,200
Sumatoria						17,5	1

**Tabla 14** Peso específico para Fabricación

Fabricación	A1	A2	A3	A4	A5	$\Sigma +1$	Ponderación
A1		1	1	0,5	0,5	4	0,229
A2	0		1	1	0,5	3,5	0,200
A3	0	1		0,5	0	2,5	0,143
A4	0,5	1	0,5		1	4	0,229
A5	0,5	0,5	0,5	1		3,5	0,200
Sumatoria						17,5	1

**Tabla 15** Peso específico para Capacidad

Capacidad	A1	A2	A3	A4	A5	$\Sigma +1$	Ponderación
A1		0,5	0,5	0,5	0,5	3	0,214
A2	1		0	0,5	1	3,5	0,250
A3	0,5	0,5		0,5	0	2,5	0,179
A4	0,5	0	0,5		0,5	2,5	0,179
A5	0,5	0,5	0	0,5		2,5	0,179
Sumatoria						14	1

**Tabla 16** Peso específico para Dimensiones

Dimensiones	A1	A2	A3	A4	A5	$\Sigma +1$	Ponderación
A1		0,5	0,5	1	0,5	3,5	0,206
A2	0,5		1	0	0,5	3	0,176
A3	0,5	1		0	1	3,5	0,206
A4	1	0	0		1	3	0,176
A5	0,5	0,5	1	1		4	0,235
Sumatoria						17	1

**Tabla 17** Peso específico para Mantenimiento

Mantenimiento	A1	A2	A3	A4	A5	$\Sigma +1$	Ponderación
A1		1	1	1	0,5	4,5	0,237
A2	1		1	0,5	0,5	4	0,211
A3	1	0,5		0,5	1	4	0,211
A4	0,5	0,5	0,5		1	3,5	0,184
A5	0,5	0,5	0	1		3	0,158
Sumatoria						19	1

Finalmente se da una jerarquía a cada una de las alternativas tomando en cuenta la relación entre las características de cada una de las opciones siendo el valor 1 para la opción adecuada y 5 para la menos correcta para el propósito.

**Tabla 18** Resultados

Característica/ Alternativa	Tecnología	Costo	Fabricación	Capacidad	Dimensiones	Mantenimiento	$\Sigma +1$	Jerarquía
A1	0,033	0,040	0,036	0,026	0,036	0,042	1,213	1
A2	0,040	0,035	0,032	0,031	0,031	0,037	1,205	3
A3	0,053	0,040	0,023	0,022	0,036	0,037	1,211	2
A4	0,033	0,025	0,036	0,022	0,031	0,032	1,180	5
A5	0,033	0,035	0,032	0,022	0,041	0,028	1,191	4

### 3.2.1 Decisión

Basándonos en los datos investigados, características, ventajas, desventajas y la Tabla 18 se ha optado por elegir la opción A1 la cual corresponde al método de extracción por “**Arrastre con vapor de agua**” que aporta grandes beneficios en cuanto a tecnología moderna, costo moderado de fabricación, gran capacidad de producción y facilidad ante la etapa de mantenimiento, con el cual también se podrán desarrollar los cocimientos en transferencia de calor, mecánica de fluidos y diseño de elementos mecánicos adquiridos a lo largo de la etapa de estudio en la carrera de Ingeniería Mecánica.

En este método es de sumo cuidado la calidad del vapor con el que se está trabajando por tanto en experimentos posteriores, Acevedo D. recomienda que el vapor de agua debe estar a presiones cercanas a los 0.31 MPa (45 psi) para lograr un mayor rendimiento del proceso y de la planta [26]. Con respecto a la temperatura se ha determinado que los 40°C son óptimos para lograr el proceso de condensación exitosa, indica Granados C [27].

### 3.3 Material vegetal

Todo el análisis matemático inicia con el parámetro de volumen de aceite necesarios a obtener que son 30 ml por proceso. La materia prima para la obtención de aceite esencial es el eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), por su fácil obtención y precio económico. Se necesita gran cantidad de hojas para que el proceso sea provechoso en



volumen al producto que se desea obtener. Con el valor del rendimiento mostrado en el capítulo anterior se puede calcular la cantidad de planta en kilogramos que necesitamos para producir 30 ml de aceite esencial. Utilizando la (Ec. 3.1) obtendremos la cantidad necesaria para producir 30 ml de aceite.

La extracción de AE del eucalipto presenta una eficiencia del 80% se indica en la Tabla 2 del Capítulo I.

$$\eta = 0.80 \%$$

$$\eta = \frac{V_{AE}}{M_{eu}} 100\% \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde,

$V_{AE}$ : Cantidad de AE obtenido en ml

$M_{eu}$ : Peso del material vegetal en gr

De la (Ec. 3.1) despejamos la cantidad del material vegetal se obtiene:

$$m_{eu} = \frac{V_{AE}}{\eta} 100\%$$

Reemplazando datos:

$$m_{eu} = \frac{30 \text{ ml}}{0.80} 100\%$$

$$\mathbf{m_{eu} = 37.5 \text{ gr}}$$

Entonces, redondeando el valor obtenido a 4000 gr que equivalen a 4 kg de planta con los cuales teóricamente se obtienen 30 ml de aceite esencial, este dato es muy importante ya que podemos dimensionar el recipiente cilíndrico que servirá de caldero para el procedimiento de extracción de aceite.

Del trabajo de fin de grado de Irene C [5], se sabe que para el procesamiento de 1 kg de material vegetal (eucalipto) se necesitan 3 litros de agua. Un litro de agua pesa aproximadamente 1 kg. Por lo tanto, aplicamos una regla de tres simple para determinar los litros de agua necesarios.

$$x = \frac{(4 \text{ kg})(3 \text{ l})}{1 \text{ kg}}$$

$$x = 12 \text{ l}$$

$\delta_{\text{agua}} = 997 \text{ kg/m}^3$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$v = \frac{m}{\delta} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde,

$m$ : masa del fluido en kg

$\delta$ : Densidad del fluido a temperatura ambiente en  $\text{kg/m}^3$

$$v = \frac{12 \text{ kg}}{997 \text{ kg/m}^3}$$

$$v = 0.012 \text{ m}^3$$

$$v = 12 \text{ l}$$

Obtenemos que 12 litros de agua son necesarios para procesar 4 kg del material vegetal.

### 3.3 Diseño mecánico

#### 3.3.1 Recipiente cilíndrico

A continuación, se detallan las dimensiones, parámetros y material del recipiente.

- En función del material vegetal  $m_{eu} = 4 \text{ kg}$ .

$$\text{diámetro } (D) = 0.4 \text{ m}$$

$$\text{altura } (h) = 0.55 \text{ m}$$

- En función de la presión que se desea trabajar

$$P = 0.31 \text{ MPa } (45 \text{ psi})$$

En función al material: Límite de fluencia

$$\sigma_Y = 180 \text{ MPa}$$

- Volumen

$$V = \pi r^2 h \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Donde,

$V$ : Volumen del cilindro (recipiente) en  $m^3$ .

$r$ : Radio del cilindro en  $m$ .

$h$ : Altura del recipiente en  $m$ .

De la Ec. 3.2 partimos para calcular el volumen, pero esta vez del material vegetal.

$\delta_{euc} = 0.91 \text{ g/ml}$  [26].

$$v = \frac{4000g}{0.91 \frac{g}{ml}}$$

$$v = 4395.60 \text{ ml}$$

$$v = \mathbf{0.004395 \text{ m}^3}$$

De la Ec. 3.3 partimos para despejar la variable de altura y tenemos lo siguiente.

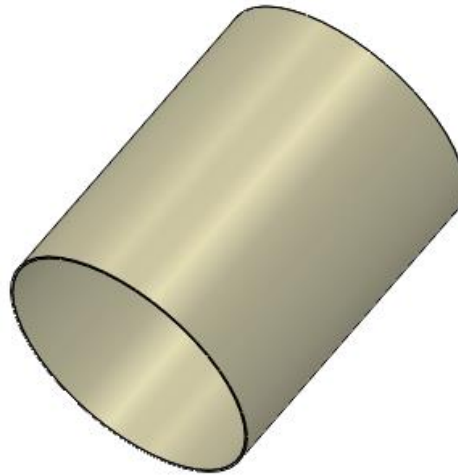
$$h = \frac{v}{\pi r^2}$$

$$r = 0.2 \text{ m (asumido)}$$

$$h = \frac{0.004395 \text{ m}^3}{\pi(0.2m)^2}$$

$$h = \mathbf{0.0349 \text{ m}}$$

Entonces, los 4 kilogramos de materia prima pueden entrar en un recipiente cilíndrico de 0.4 metros de diámetro y una altura de 0.0345 metros. Teniendo en cuenta que por el recipiente recorrerá vapor de agua elevamos la altura hasta 0.55m.



**Figura 46** Cuerpo del recipiente

### 3.3.1.1 Espesor para la pared del cuerpo

La siguiente fórmula se utiliza para el cálculo del espesor mínimo del recipiente (código ASME sección VIII, División 1).

$$t = \frac{P R}{S E - 0.6 P} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde,

$P$ : Presión interna de diseño (0.31MPa)

$r$ : Radio interior del cuerpo (0.2m)

$S$ : Esfuerzo disponible máximo del material (180MPa)

$E$ : Eficiencia de la junta, para juntas soldadas (asumida  $E= 0.85$ )

La eficiencia de la junta se asume en base a la tabla establecida en el código ASME Sección VIII, División 1.

**Tabla 19** Eficiencia de juntas

Tipo de soldadura	Grado de examen Radiográfico		
	100%	Puntual	No examinada por puntos
(a)	1	0.85	0.7
(b)	0.9	0.8	0.65
(c)	-	-	0.6

$$t = \frac{(0.31 \text{ Mpa})(0.2 \text{ m})}{(180 \text{ Mpa})(0.85 - 0.6)(0.31 \text{ Mpa})}$$

$$t = 4.14e - 4 \text{ m (0.414 mm)}$$

Entonces, el espesor mínimo para que el cilindro soporte la presión interna es de 0.414 mm. La empresa cuenta con una plancha de acero inoxidable de acero 304 L de  $t = 2$  mm así que por facilidad para la construcción se escoge un espesor de 2 milímetros, las especificaciones técnicas y propiedades mecánicas del material se observan en el ANEXO 1.

### 3.3.1.2 Factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sqrt{\sigma_t^2 - \sigma_t * \sigma_L + \sigma_L^2}} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde,

$\sigma_t$ : Esfuerzo tangencial

$\sigma_L$ : Esfuerzo axial

$S_y$ : Esfuerzo último del material (180 MPa)

$$\sigma_t = \frac{P * r}{t} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Donde,

$P$ : Presión interna de diseño (0.31 MPa)

$r$ : Radio interior del cuerpo (0.2 m)

$t$ : Espesor mínimo (0.002 m)

$$\sigma_t = \frac{(0.31 \text{ MPa})(0.2 \text{ m})}{0.002 \text{ m}}$$

$$\sigma_t = 31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_L = \frac{P * r}{2t}$$

$$\sigma_L = \frac{(0.31 \text{ MPa})(0.2 \text{ m})}{2(0.002 \text{ m})}$$

$$\sigma_L = 15.5 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sqrt{\sigma_t^2 - \sigma_t * \sigma_L + \sigma_L^2}}$$

$$n = \frac{180 \text{ MPa}}{\sqrt{(31 \text{ MPa})^2 - (31 \text{ MPa})(15.5 \text{ MPa}) + (15.5 \text{ MPa})^2}}$$

$$n = 6.56$$

En la Tabla 20 se muestra valores recomendados de factor de seguridad para diferentes equipos. Esta muestra un valor de 3.5 a 6 para recipientes a presión, por lo que podemos concluir que el factor de seguridad obtenido en cálculos es aceptable.

**Tabla 20** Factores de seguridad recomendados [27]

<b>EQUIPO</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>
Componentes de aeronaves	1.5-2.5
Calderas	3.5-6
Pernos	8.5
Ruedas de hierro fundido	20
Componentes del motor	6-8
Eje de servicio pesado	10-12
Recipientes a presión	3.5-6
Componentes de turbinas	6-8
Hinday Resortes grandes para trabajos pesados	2.-3
Trabajos de acero estructural en edificios	4-6
Trabajos de acero estructural en puentes	5-7
Cuerdas de alambre	8-9

### 3.3.1.3 Espesor para el fondo del cilindro

Se determina como una configuración tipo toriesférica para el fondo de un recipiente a presión debido a su fácil conformado y económico en su fabricación. Según la Figura 47 Detalles dimensionales de la cabeza toriesférica tenemos el siguiente dimensionamiento para el fondo del cilindro.

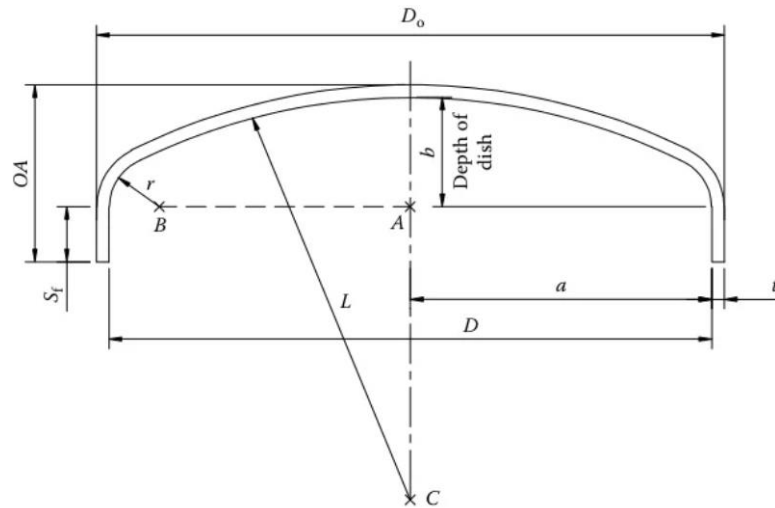


Figura 47 Detalles dimensionales de la cabeza toriesférica [22]

### 3.3.1.4 Dimensionamiento del fondo del cilindro

Realizamos un prediseño del fondo del cilindro para obtener los datos faltantes.

Donde,

$L$ : Radio interior de la corona

$r$ : Radio del nudillo

$$r = 0.06 D$$

$$r = (0.06)(0.4 m)$$

$$r = \mathbf{0.024m}$$

$$AB = \frac{D}{2} - r$$

$$AB = \frac{0.4m}{2} - 0.024$$

$$AB = \mathbf{0.176m}$$

Asumimos  $BC = 20\text{cm}$  para encontrar  $b$ :

$$BC = L - r$$

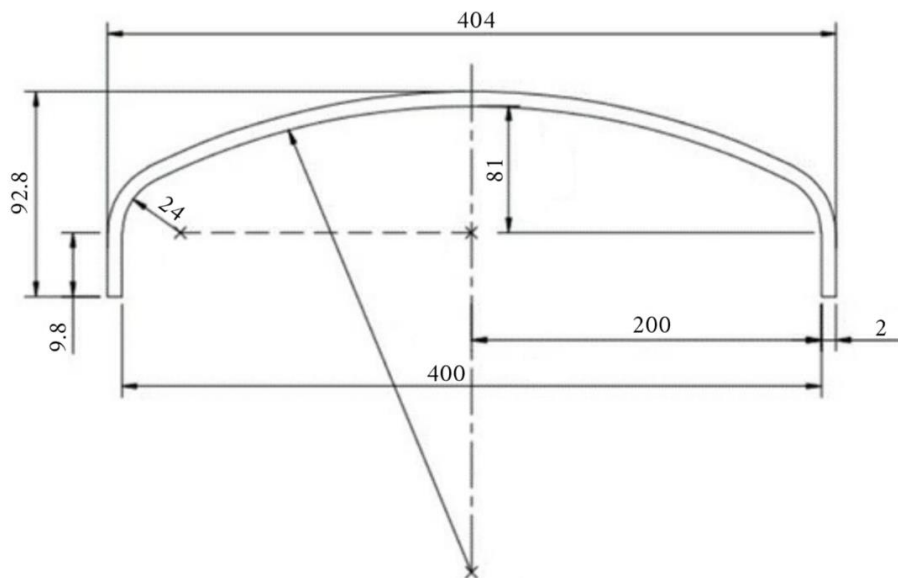
$$BC = 200\text{mm} - 24\text{mm}$$

$$BC = 176\text{mm}$$

$$b = L - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2}$$

$$b = 176\text{mm} - \sqrt{(200\text{mm})^2 - (176\text{mm})^2}$$

$$b = 81\text{mm}$$



**Figura 48** Dimensionamiento del fondo del cilindro

### 3.3.1.5 Espesor del fondo del cilindro

Para obtener el espesor del fondo del cilindro se utiliza la formula establecida por la Ec. 3.7, para cabeza tipo toriesférica. Los requerimientos para la utilización de dicha expresion son: el radio del nudillo  $r$  sea el 6% del radio interior y el radio interior de la corona sea igual al diámetro interior del faldón.

$$L = D$$

$$r = 0.06D$$

$$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde,



*P*: Presión de diseño (0.31 MPa)

*S*: Esfuerzo permisible (180 MPa)

*E*: eficiencia de la junta (0.85)

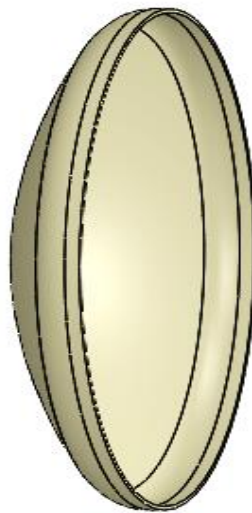
*D*: Diámetro (0.4 m)

*L*: Radio interior de la corona (0.176m)

*r*: Radio del nudillo (0.024)

$$t = \frac{(0.885)(0.31 \text{ Mpa})(0.176 \text{ m})}{(180 \text{ Mpa})(0.85) - (0.1)(0.31 \text{ Mpa})}$$
$$t = 3.15e - 4 \text{ m} \quad (0.3 \text{ mm})$$

El espesor para el fondo del cilindro es 0.3mm, por facilidad al momento de la construcción se utilizará el mismo espesor que se utilizará para el cuerpo cilíndrico, lo que quiere decir que el cuerpo entero del recipiente a presión será de acero 304 L de 2 mm de espesor.



**Figura 49.** Fondo del cilindro.

### **3.3.1.6 Simulación del cilindro**

#### **3.3.1.6.1 Análisis por Von Mises**

Utilizando los datos calculados referente al espesor, altura, diámetro y presión de trabajo se realizó un modelado previo del cilindro y mediante diseño de elementos

finitos se corrobora que el dimensionamiento es el correcto. La Figura 50 muestra el Valor Von Mises, que muestra valores de tensión de Von Mises donde su valor máximo es de 147.7 MPa; dicho valor no excede el límite elástico del material por lo que podemos concluir que el material nunca fallará por tensión.

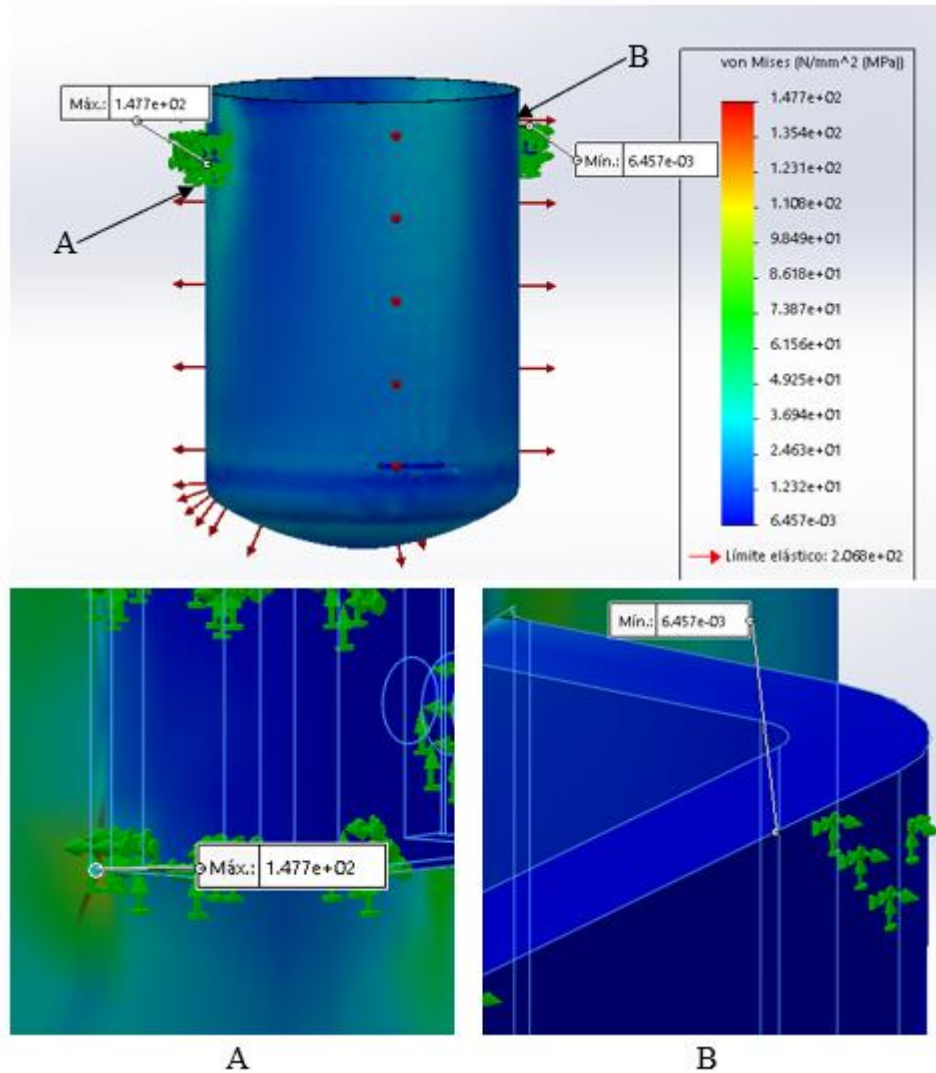


Figura 50 Valor Von Mises

Tabla 21 Condiciones de borde (cilindro)

Condiciones de borde	
Sujecciones	Puntos A y B (Ver Figura 50)
Presión	0.31 MPa
Malla	Fina basada en curvas
Espesor de pared	2mm

### 3.3.1.6.2 Análisis por factor de seguridad

Simulando la resistencia del cilindro por factor de seguridad se puede observar en la Figura 51 que con un valor de factor de seguridad mínimo es de 6.2 que no dista mucho del valor obtenido en cálculos, teniendo en cuenta que el valor calculado de factor de seguridad es 6.56. El cilindro se encuentra en el rango óptimo para su operación.

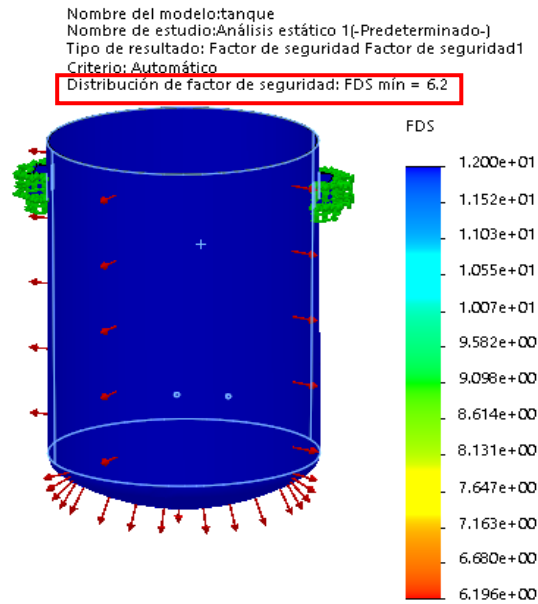


Figura 51 Valor factor de seguridad

### 3.3.2 Tapa cónica

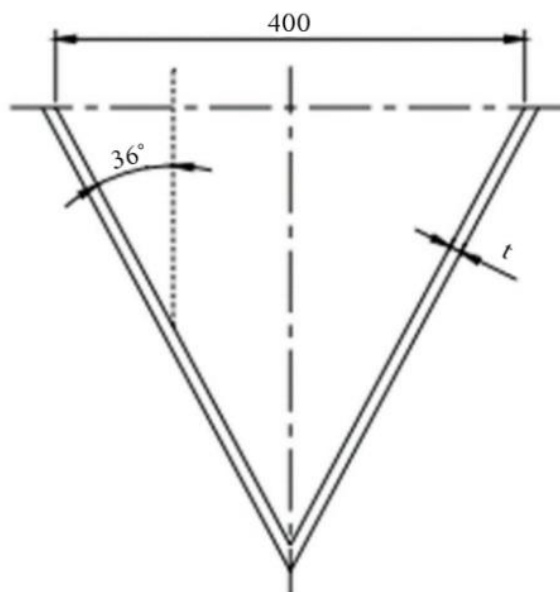


Figura 52 Croquis de tapa cónica

Para encontrar el espesor en recipientes a presión cónicos se utiliza la Ec. 3.8 establecida en el código ASME Sección VIII, División 1.

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos\alpha (SE - 0.6P)} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Donde,

*P*: Presión de diseño

*D*: Diámetro

*S*: Esfuerzo permisible

$\alpha$ : Ángulo del cono con la vertical

*E*: Eficiencia de la junta

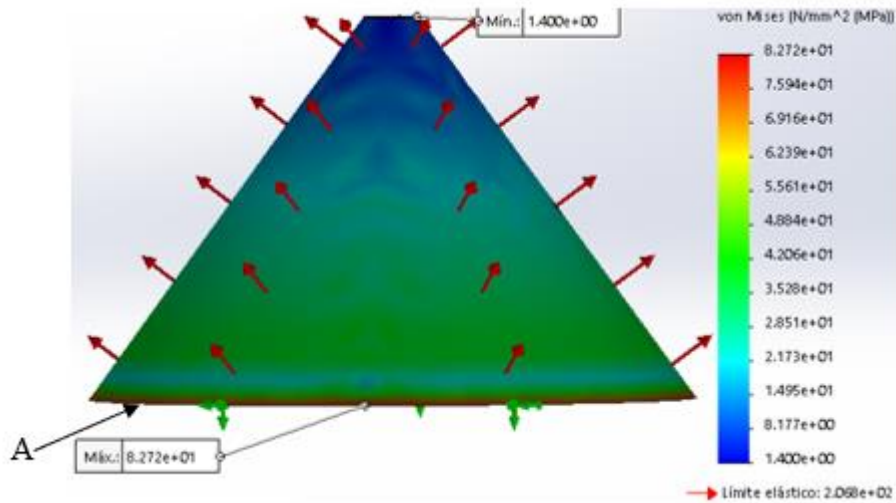
$$t = \frac{(0.31 \text{ MPa})(0.4 \text{ m})}{2 \cdot \cos(35.9) (180 \text{ MPa})(0.85 - (0.6(0.31 \text{ MPa})))}$$

$$t = 0.000510 \text{ m (0.5mm)}$$

El espesor para la tapa cónica es 0.3mm, por facilidad al momento de la construcción se utilizará el mismo espesor que se utilizará para el cuerpo cilíndrico, lo que quiere decir que el cuerpo entero del recipiente a presión más la tapa cónica serán de acero 304 de 2 mm de espesor.

### 3.3.2.1 Simulación de la tapa cónica

Utilizando los datos calculados referente al espesor, altura, diámetro y presión de trabajo se realizó un modelado previo de la tapa cónica y mediante diseño de elementos finitos se corrobora que el dimensionamiento es el correcto. La Figura 50 Valor Von Mises , muestra valores de tensión de Von Mises, el valor máximo es de 82 MPa, este valor no excede el límite elástico del material por lo que podemos concluir que el material nunca fallará por tensión.



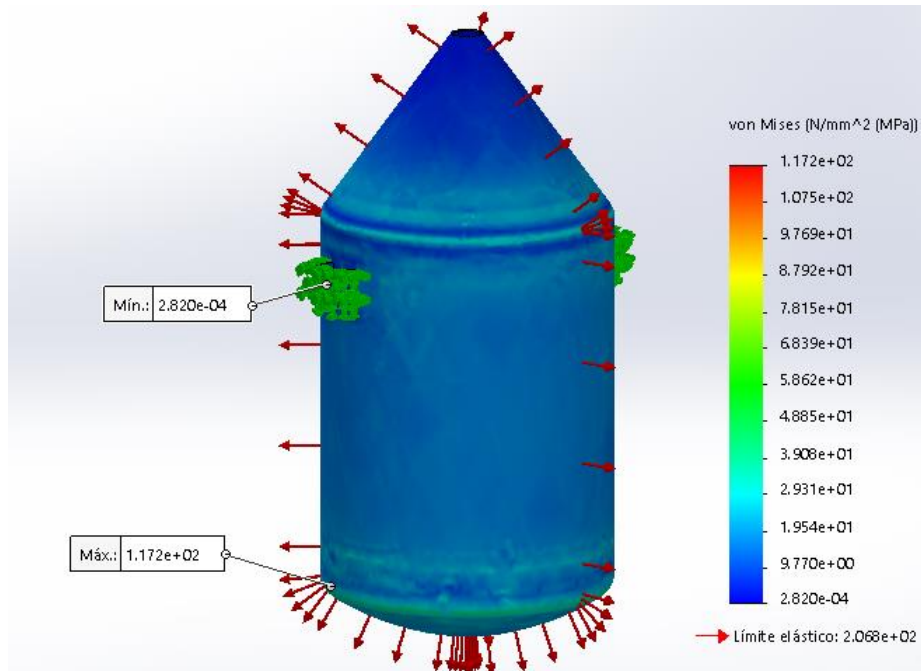
**Figura 53** Escala de deformación

**Tabla 22** Condiciones de borde (tapa)

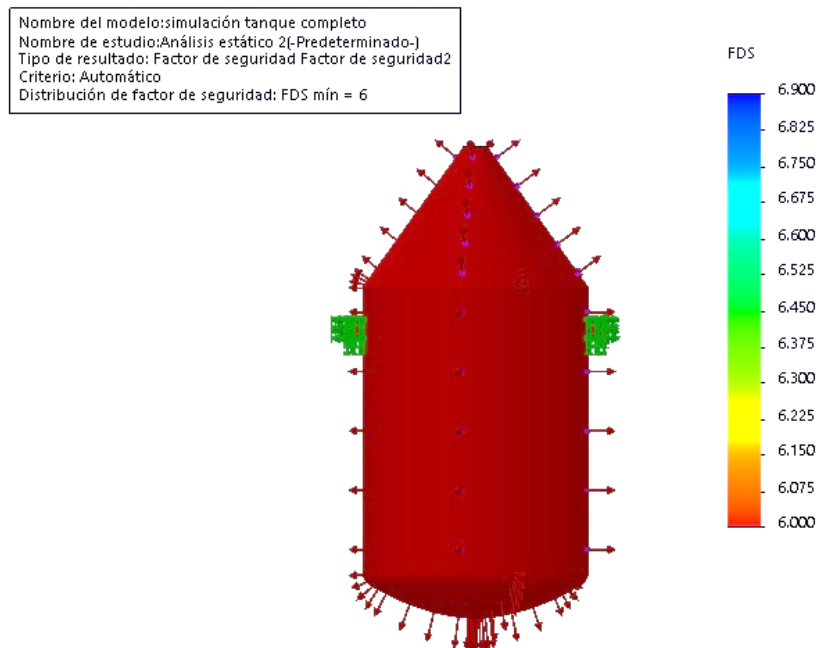
<b>Condiciones de borde</b>	
Sujeciones	A lo largo de A (Ver Figura 53)
Presión	0.31 MPa
Malla	Fina basada en curvas
Espesor de pared	2mm

### 3.3.3 Simulación del tanque completo

En la Tabla 20 se muestran valores recomendados de factores de seguridad para diferentes componentes. El valor para recipientes a presión es de 3.5 - 6. En el software de diseño CAE 3D se introdujeron los datos numéricos encontrados en cálculos, Esto haciendo referencia a todo el recipiente. Se obtuvo los siguientes resultados.



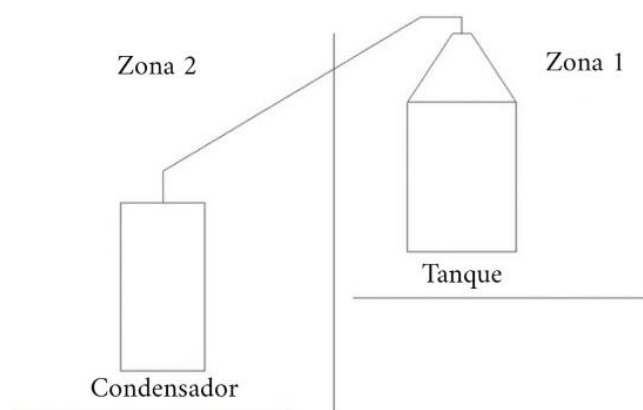
**Figura 54** Valor global de Von Mises



**Figura 55** Factor de seguridad

En la Figura 54 podemos observar que el valor del esfuerzo de Von Mises es de 117 MPa que no excede el límite elástico, es decir que el material no fallará ni deformará durante el proceso. Por otro lado, el factor de seguridad que indica el software tiene un valor de 6 (Figura 55) que está dentro del rango de factores de seguridad recomendados en la Tabla 20.

Según los requerimientos de la empresa, el montaje del sistema de extracción se lo realizará en dos zonas distintas. En la zona 1 se instalará el tanque con la fuente de calor, esta zona es abierta para evitar acumulación de combustible en caso de fugas. En la zona 2 está montado el intercambiador de calor con el sistema de condensación y recolección; todo el conjunto de la zona dos estará en un cuarto cerrado para evitar contaminantes externos en el momento de la extracción. Ambas zonas están a un desnivel de 50 cm y estarán separadas por una pared de bloque tal como se ve en la Figura 56.

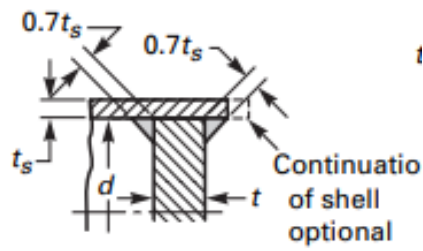


**Figura 56** Distribución de la máquina

### 3.3.4 Diseño de la argolla de sujeción (brida)

La argolla de sujeción es un elemento circular de 30 mm (asumido) de ancho y su espesor se calculará mediante especificaciones del código ASME. Este elemento va soldado alrededor de la tapa cónica y del cilindro y cumple la función de anclaje o cierre hermético entre los dos elementos desmontables del extractor de aceites. El elemento se lo diseña bajo el criterio de flexión en elementos curvos.

Según la norma ASME podemos escoger un modelo de brida precalificada. Para el diseño del extractor de aceites escogemos la brida mostrada en la Figura 57 por su fácil fabricación. Para el espesor mínimo requerido para cabezas circulares, tapas y bridas ciegas se calcularán con la siguiente fórmula.



**Figura 57** Modelo de brida [22]

$$t = d\sqrt{CP/SE} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Donde,

$t$ : Espesor mínimo

$d$ : Diámetro de la tapa de brida (0.44m)

$C$ : Factor de corrección (0.33)

$P$ : Presión interna (0.31MPa)

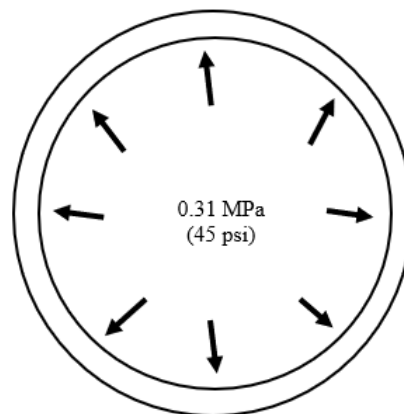
$S$ : Esfuerzo máximo permisible (180 MPa)

$E$ : Eficiencia de la junta (0.85)

$$t = d\sqrt{CP/SE}$$

$$t = 0.04 \sqrt{\frac{(0.33)(0.31 \text{ MPa})}{(180 \text{ MPa})(0.85)}}$$

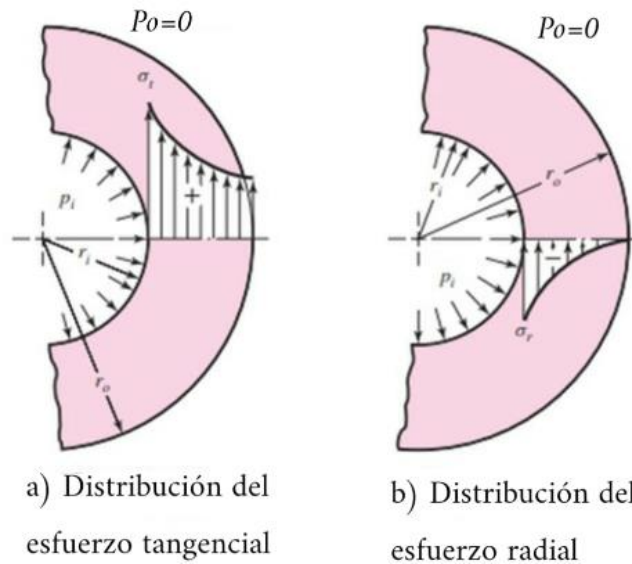
$$t = 1.03e - 3m \text{ (1.03mm)}$$



**Figura 58** Distribución de esfuerzos



La Figura 59 indica cual es la distribución del esfuerzo tangencial y radial cuando no existe presión externa. Teniendo una visualización clara de cómo actúan estos esfuerzos en la brida del cilindro y de la tapa cónica procedemos a encontrar su valor numérico para que mediante un factor de seguridad se pueda verificar un correcto funcionamiento dentro del proceso de extracción de aceite.



**Figura 59** Distribución de esfuerzos. (a) Tangencial y (b) Radial [8]

### 3.3.4.1 Esfuerzo tangencial, radial y longitudinal

Como se ve en la Figura 59 el esquema de aparición de los esfuerzos tangencial (a), radial (b) y en adición del esfuerzo longitudinal; procedemos a determinar dichos valores mediante las Ec. 3.10, Ec. 3.11 y Ec. 3.12.

$$\sigma_t = \frac{r_i^2 * p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad (\text{Ec. 3.10})$$

$$\sigma_r = \frac{r_i^2 * p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad (\text{Ec. 3.11})$$

$$\sigma_l = \frac{r_i^2 * p_i}{r_o^2 - r_i^2} \quad (\text{Ec. 3.12})$$

Donde,

$r_i$ : Radio interno

$r_o$ : Radio externo

$p_i$ : Presión interna

$P = 0.31 \text{ MPa}$

$$\sigma_t = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2}\right)$$
$$\sigma_t = \frac{(0.2 \text{ m})^2 (0.31 \text{ MPa})}{(0.23 \text{ m})^2 - (0.2 \text{ m})^2} \left(1 + \frac{(0.23 \text{ m})^2}{(0.2 \text{ m})^2}\right)$$
$$\sigma_t = 11.16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_L = \frac{r_i^2 * p_i}{r_o^2 - r_i^2}$$
$$\sigma_L = \frac{(0.2 \text{ m})^2 (0.31 \text{ MPa})}{(0.23 \text{ m})^2 - (0.2 \text{ m})^2}$$
$$\sigma_L = 4.80 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sqrt{\sigma_t^2 - \sigma_t * \sigma_L + \sigma_L^2}}$$
$$n = \frac{180 \text{ MPa}}{\sqrt{(11.16 \text{ MPa})^2 - 11.16 \text{ MPa} (4.80 \text{ MPa} + 4.80 \text{ MPa})}}$$

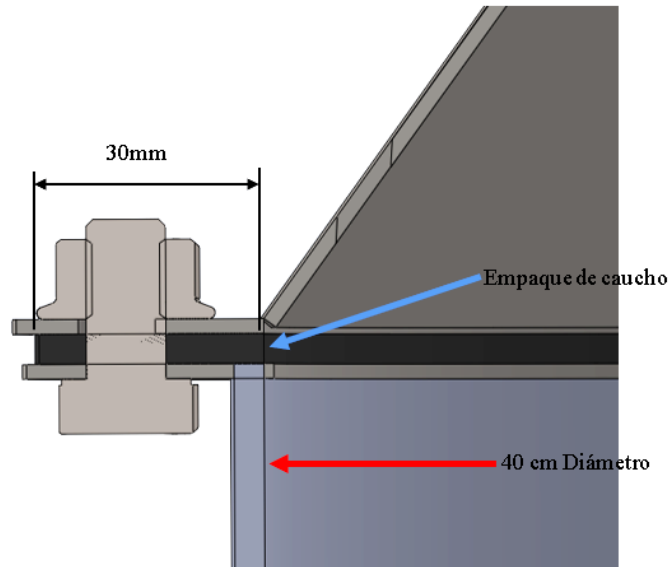
$$n = 3.2$$

### 3.3.5 Selección de pernos de sujeción entre la tapa y el cilindro

En este apartado se seleccionará la longitud del perno, el espesor de la tuerca y el número de pernos a utilizar alrededor de la unión entre la tapa y el cilindro a presión. En la Figura 60 se observa el esquema de sujeción entre el cilindro y la tapa el cual cuneta con la unión de los pernos se coloca un empaque de caucho para garantizar hermeticidad y así evitar pérdidas de presión. Los cálculos de selección de pernos contemplan una presión interna de 45psi asumido.

Según la norma ASTM D2000 el empaque de cacho será de tipo C, Soportará una temperatura de hasta 125°C. Para este tipo de empaque se necesita una presión mínima de 8.8 MPa (90 kg/cm<sup>2</sup>) o también se reduce su espesor la mitad, en otras palabras, el

espesor del empaque de caucho es de 3mm, al momento de sellar este espesor pasará a medir 1.5mm.



**Figura 60** Esquema modo de sujeción cilindro/tapa

Datos del perno (asumido)

$$L = 1.25 \text{ in}$$

$$D = 8 \text{ mm (0.31 in)}$$

Material: SAE Grado 2

#### a) Agarre

3 mm de cada argolla y 3 mm del empaque de caucho

$$l = (3 + 3 + 3) \text{ mm}$$

$$l = 9 \text{ mm (0.35 in)}$$

$$E_{\text{perno}} = 193053.2 \text{ MPa (28E6 psi)}$$

$$E_{\text{cilindro}} = 193053.2 \text{ MPa (28E6 psi)}$$

#### b) Carga en pernos

Encontramos la carga que los pernos deben soportar a lo largo del proceso de extracción de aceite. El área que se toma en cuenta es el del diámetro del cilindro más los 3 centímetros de espacio de el empaque.

$$F_t = P A \quad (\text{Ec. 3.13})$$

$$F_t = 0.31 \text{ MPa} \left( \frac{\pi(430)^2}{4} \right)$$

$$F_t = 45018.23 \text{ N}$$

**c) Área del empaque**

$$A = \frac{\pi(23^2 - 20^2)}{4}$$

$$A = 101.31 \text{ cm}^2$$

Entonces la presión mínima en los pernos será:

$$F_{min} = P A \quad (\text{Ec. 3.14})$$

$$F_{min} = (90 \text{ kg/cm}^2)(101.31 \text{ cm}^2)$$

$$F_{min} = 9117 \text{ kgf}$$

$$F_{min} = 89407.23 \text{ N}$$

Ahora se calcula la fuerza máxima ejercida en los pernos, para esto debemos encontrar el constante de rigidez.

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (\text{Ec. 3.15})$$

Donde,

$C$ : constante de rigidez

$k_b$ : Rigidez del perno

$k_m$ : Rigidez de los elementos

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d} \quad (\text{Ec. 3.16})$$

$$k_m = \frac{0.5774 \pi E d}{2 \ln \left( 5 \frac{0.5774 l + 0.5 d}{0.5774 l + 2.5 d} \right)} \quad (\text{Ec. 3.17})$$

De la Figura 61 se obtiene la siguiente formula.

$$L_T = \begin{cases} 2d + \frac{1}{4} \text{ pulg} & L \leq 6 \text{ pulg} \\ 2d + \frac{1}{2} \text{ pulg} & L > 6 \text{ pulg} \end{cases}$$

**Figura 61** Ecuación valor LT [8]

$$L_T = 2d + 0.25$$

$$L_T = 2(7.87\text{mm}) + 0.25 = 22.09\text{mm}$$

$$l_d = L - L_T$$

$$l_d = 1 - 22.09\text{mm} = 3.3\text{mm}$$

$$l_t = l - l_d$$

$$l_t = 8.89\text{mm} - 3.302\text{mm}$$

$$l_t = 5.58\text{mm}$$

Del ANEXO 3 se obtienen los valores de  $A_t$  y  $A_d$  es el área del diámetro mayor. Para un diámetro mayor de 8mm (0.3125 in) el valor de  $A_t$  igual a 0.0524 in<sup>2</sup> y el área del diámetro mayor es:

$$A_d = \frac{\pi(7.87\text{mm})^2}{4}$$

$$A_d = 1.9\text{mm}^2$$

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

$$k_b = \frac{(1.9\text{mm}^2)(33.8\text{mm}^2)(193053.2\text{Mpa})}{(1.9\text{mm}^2)(5.58\text{mm}) + (33.8\text{mm}^2)(3.302\text{mm})}$$

$$k_b = 832\text{N/mm}$$

$$k_m = \frac{0.5774 \pi E d}{2 \ln \left( 5 \frac{0.5774 l + 0.5 d}{0.5774 l + 2.5 d} \right)}$$

$$k_m = \frac{(0.5774) \pi (193053.2\text{Mpa psi})(7.87\text{mm})}{2 \ln \left( 5 \frac{(0.5774)(8.89\text{mm}) + (0.5)(8.89\text{mm})}{(0.5774)(8.89\text{mm}) + (2.5)(8.89\text{mm})} \right)}$$

$$k_m = 2479.87\text{N/mm}$$

$$C = \frac{832\text{N/mm}}{832\text{N/mm} + 2479.87\text{N/mm}}$$

$$C = 0.25$$

#### b) Carga máxima de los pernos

$$F_{max} = C Ft + Fi \quad (\text{Ec. 3.18})$$

$$F_{max} = (0.25)(45018.23 N) + 89407.23 N$$

$$F_{max} = 99899.03 N$$

**c) Numero de pernos**

$$N = \frac{C n P}{s_p A_t - F_p} \quad (\text{Ec. 3.19})$$

Con el ANEXO 4 encontramos el valor de  $S_p$  para pernos SAE Grado 2. Con una longitud de perno de 1in obtenemos un valor de 227 MPa (33ksi). Asumimos un factor  $n = 2$ , este valor asumido es para pernos que se reutilizan cuando se separe la unión.

Encontramos la precarga recomendada.

$$F_p = 0.75 s_p A_t \quad (\text{Ec. 3.20})$$

$$F_p = 0.75(227MPa)(33.8mm^2)$$

$$F_p = 5754.45 N$$

$$N = \frac{(0.25)(2)(45018.23 N)}{(227MPa)(33.8 mm^2) - 5754.45 N}$$

$$N = 8.04$$

Entonces el número de pernos alrededor de la argolla que une la tapa cónica con el cilindro son 8 los cuales se ve en la Figura 62 y Figura 63 su distribución en el modelo 3D.

**d) Torque necesario**

Ahora con la siguiente formula se encuentra el valor de toque que se debe aplicar en cada perno.

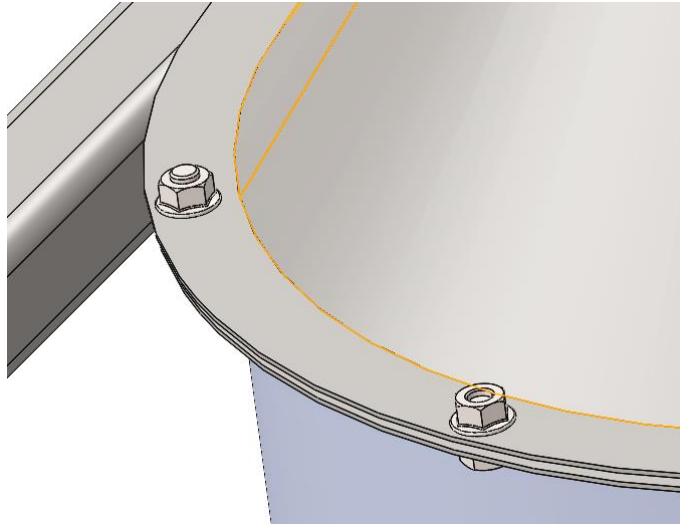
$$F = \frac{45018N}{8 \text{ pernos}}$$

$$F = 5627.25N$$

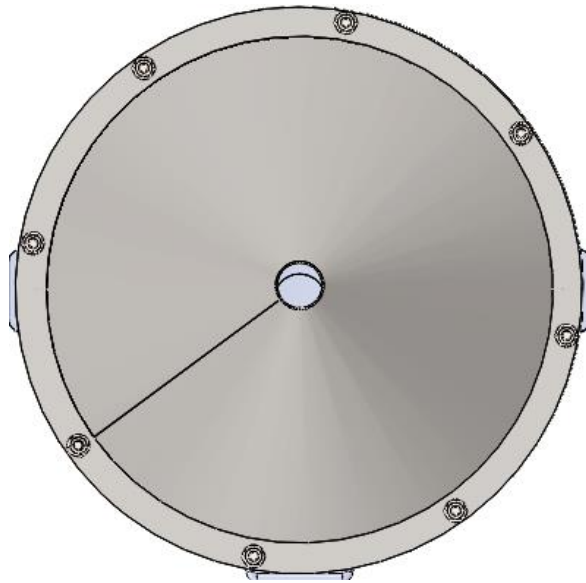
$$T = 0.2F \frac{d}{100} \quad (\text{Ec. 3.21})$$

$$T = (0.2)(5627.25 N) \left( \frac{399.796 mm}{100} \right)$$

$$T = 4499.5 \text{ N.mm}$$



**Figura 62** Pernos acoplados



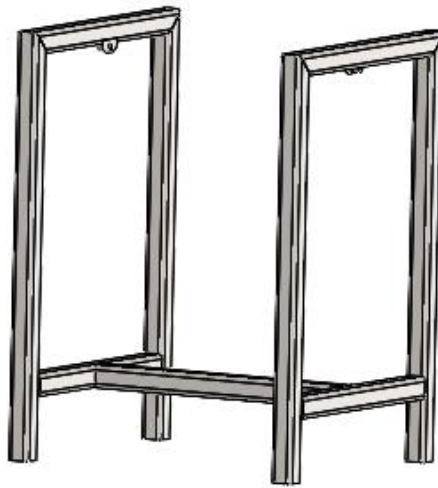
**Figura 63** Vista superior de la tapa

### **3.3.6 Diseño de la estructura de soporte**

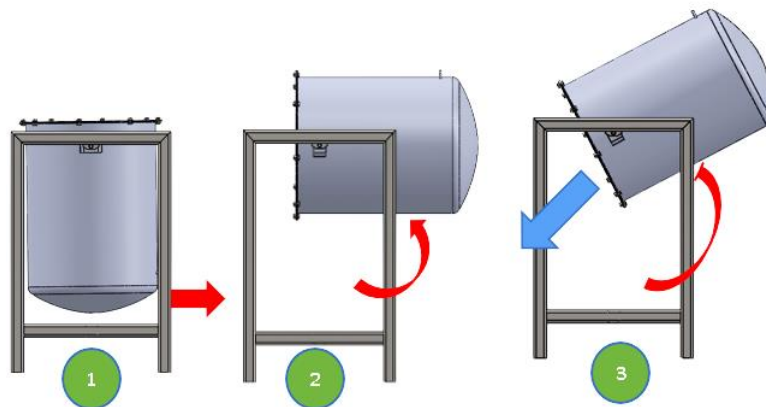
Esta estructura debe estar diseñada para soportar el peso del cilindro más los accesorios de la tubería, se analizará estáticamente ya que en el proceso de extracción de aceites la máquina no tendrá ningún movimiento.

La empresa SAVEWATER cuenta con tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 (40x40x2mm). Por facilidad, el diseño de la estructura tomará como punto de partida las dimensiones del tubo cuadrado con el que cuenta la empresa quedando como el diseño final observable en la Figura 64.

En cuanto al anclaje entre el cilindro y la estructura de soporte está pensado que funcione de manera similar a un péndulo ya que el colector de materia prima y agua no cuenta con una válvula de purga y al final de cada proceso de extracción es necesario limpiar el fondo del cilindro de los residuos de agua y restos de planta. Su proceso de limpieza consta de 3 pasos ilustrados en la Figura 65.



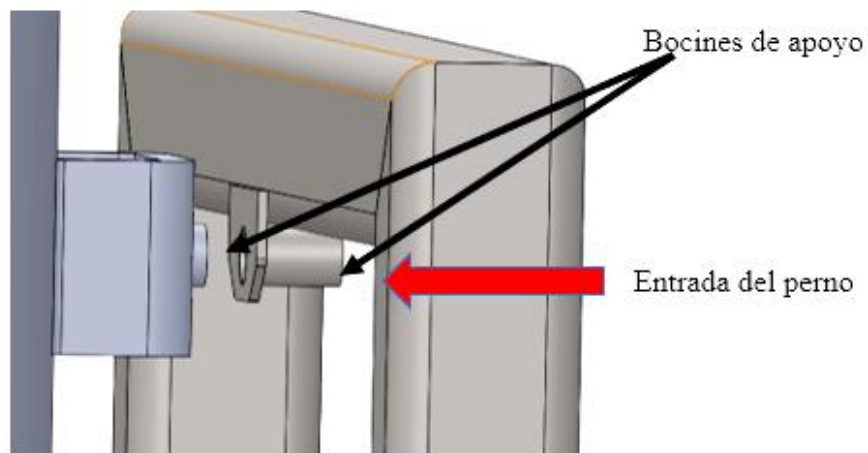
**Figura 64** Estructura acero 304



**Figura 65** Modo de limpieza

Para la unión entre la estructura y el cilindro a presión se diseñará un eje que posteriormente se analizará por esfuerzo cortante, este elemento irá en cada lado de la estructura ensamblado con los bocines soldados tanto en la estructura como en el cilindro tal como se muestra en la Figura 66.





**Figura 66** Sujeción tanque-estructura

Para analizar por esfuerzo cortante debemos conocer el diámetro del perno, longitud y la fuerza total del cilindro. Se sabe que la materia prima incluye 4 kg de planta y 12 litros de agua que equivale a 12 kg. Ahora el peso total del cilindro más la tapa y accesorios se lo obtiene del programa de diseño CAE, siendo este de 40 kg. La fuerza ejercida por el peso es la siguiente:

$$F = m \cdot a \quad (\text{Ec. 3.22})$$

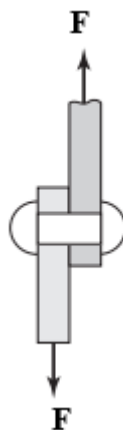
Donde,

*m*: Masa del elemento

*a*: Aceleración de la gravedad

$$F = (40 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$F = 392 \text{ N}$$



**Figura 67** Esquema de fuerzas [22]

Esta fuerza  $F$  se divide para dos (196 N) ya que son dos pernos que soportarán la carga total del cilindro. Con la fuerza  $F$  podemos encontrar el esfuerzo cortante y comparar con el esfuerzo máximo permisible del material, en este caso el material será de acero inoxidable que tiene un esfuerzo permisible de 180 MPa. Usando Ec. 3.23 se encuentra el esfuerzo cortante correspondiente.

$$\tau = \frac{F}{2 t d} \quad (\text{Ec. 3.23})$$

Donde,

$F$ : Fuerza ejercida por el cilindro

$t$ : Espesor de la placa más delgada

$d$ : Diámetro del perno

$$\tau = \frac{196 \text{ N}}{2(0.002 \text{ m})(0.012 \text{ m})}$$

$$\tau = 4.08 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante no excede el valor del esfuerzo máximo permisible del material por lo que se concluye que el perno seleccionado para que soporte la carga ejercida por el cilindro no fallará durante el proceso.

### 3.4 Diseño térmico

#### 3.4.1 Flujo másico teórico

Es necesario determinar el valor del flujo masico del vapor que podría circular por el sistema de condensación, los apuntes del ingeniero Tim Denny expuestos en su trabajo Felid Destillation for Herbaceous Oils sirven de referencia para el cálculo [30].

$$\dot{m}_v = \frac{M_v}{t_d} \quad (\text{Ec. 3.24})$$

Donde,

$M_v$ : Masa de vapor necesaria para la extracción

$t_d$ : Tiempo de diseño de extracción necesario

$$M_v = m_l * t_{es} \quad (\text{Ec. 3.25})$$

Donde,

$m_l$ : Flujo de vapor estándar en condiciones experimentales (Tim Denny)

$t_{es}$ : Tiempo de extracción estándar en condiciones experimentales (Tim Denny)

$$M_v = (1.55 \text{ kg/min})(82 \text{ min})$$

$$M_v = 127.34 \text{ kg}$$

### a) Parámetros $x$ y $s$

Valores experimentales establecidos, se establece un incremento del 45% para  $da$  y 0.66 metros teóricos para el diámetro del contenedor.

$$a = \pi \cdot d^2 \quad (\text{Ec. 3.26})$$

$$a = \pi(0.66 \text{ m})^2$$

$$a = 1.37 \text{ m}^2$$

$$s = \frac{da}{a} \quad (\text{Ec. 3.27})$$

$$s = \frac{(1.37 \text{ m}^2) + (1.37 \text{ m}^2 * 0.45)}{1.37 \text{ m}^2}$$

$$s = 0.69 \text{ m}$$

Con los datos experimentales determinamos un valor de 105 minutos para el parámetro  $t$ .

$$x = t * \sqrt{\frac{s}{s + d}} \quad (\text{Ec. 3.28})$$

$$x = (105 \text{ min}) \sqrt{\frac{0.69 \text{ m}}{0.69 \text{ m} + 0.66 \text{ m}}}$$

$$x = 75.06 \text{ min}$$

### b) Altura teórica contendor

$$h = \frac{m}{\delta_e * A} \quad (\text{Ec. 3.29})$$

Donde,

$m$ : Masa del material vegetal contenido

$\delta_e$ : Densidad de empaquetamiento

$A$ : Área teórica del contenedor

$$h = \frac{4 \text{ kg}}{(120 \text{ kg/m}^3) \left( \frac{\pi(0.66\text{m})^2}{4} \right)}$$

$$h = 0.1 \text{ m}$$

### c) Tiempo de extracción

$$t_{ex} = x * \sqrt{1 + \frac{h}{s}} \quad (\text{Ec. 3.30})$$

Donde,

$x$  y  $s$ : parámetros obtenidos de los datos experimentales (Tim Denny).

$h$ : Altura aproximada del material vegetal en el contenedor.

$$t_{ex} = (75.06 \text{ min}) \sqrt{1 + \frac{0.1 \text{ m}}{0.69 \text{ m}}}$$

$$t_{ex} = 80.32 \text{ min}$$

### d) Masa de vapor necesaria

$$M_{vs} = \frac{m * Cp * \Delta T}{h_{fg}} \quad (\text{Ec. 3.31})$$

Donde,

$m$ : Masa del material vegetal.

$Cp$ : Capacidad calorífica del material vegetal (eucalipto).

$\Delta T$ : Variación de temperatura con respecto al vapor y la temperatura ambiente.

$h_{fg}$ : Entalpia del material vegetal.

$$M_{vs} = \frac{(4kg)(1.76 kJ/kg.K)(100 - 18)}{2256.4 kJ/kg}$$

$$\mathbf{M_{vs} = 0.305 kg}$$

**e) Tiempo de calentamiento**

$$t_c = \frac{M_{vs}}{m_l} \quad (\text{Ec. 3.32})$$

Donde,

$m_{vs}$ : Masa de vapor requerida para el calentamiento del sistema

$m_l$ : Flujo de vapor estándar en condiciones experimentales (Tim Denny)

$$t_c = \frac{0.305 kg}{1.55 kg/min}$$

$$\mathbf{t_c = 0.196 min}$$

**f) Tiempo total de extracción en condiciones estándar**

$$t_{es} = t_{ex} * t_c \quad (\text{Ec. 3.33})$$

Donde,

$t_{ex}$ : Tiempo de extracción basado en características del contenedor.

$t_c$ : Tiempo necesario para que el material vegetal y el sistema adquieran temperatura.

$$t_{es} = (80.32 min)(0.196 min)$$

$$\mathbf{t_{es} = 80.52 min}$$

Una vez obtenido el tiempo total podemos calcular la masa de vapor necesaria a partir de la Ec. 3.23.

$$M_v = (1.55 kg/min)(80.52 min)$$

$$\mathbf{M_v = 124.6 kg}$$

Y finalmente el flujo masico de vapor teórico necesario con la Ec. 3.22.

$$\dot{m}_v = \frac{124.6 \text{ kg}}{120 \text{ min}}$$

$$\dot{m}_v = 1.06 \text{ kg/min}$$

$$\dot{m}_v = \mathbf{64 \text{ kg/h}}$$

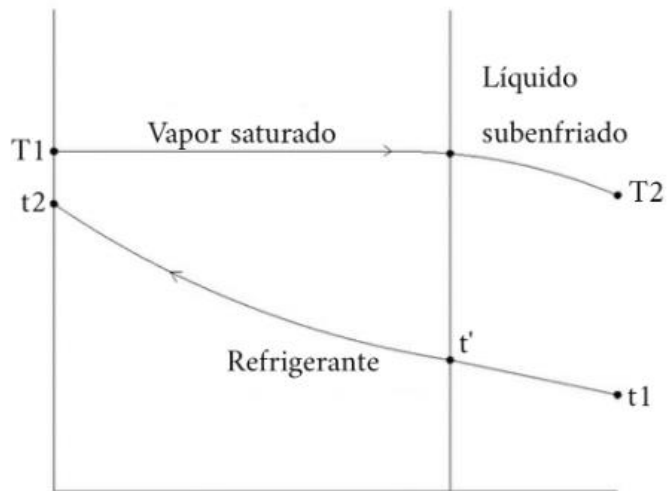
Determinados que el valor del flujo masico del vapor será de 64kg/h teóricos con los cuales se realizaran los cálculos para el sistema de condensación a continuación.

### 3.4.2 Diseño condensador

Partimos de los datos obtenidos previamente como el flujo masico base de 64 kg/h de la mezcla (Tim Denny) [30] que será el que circulará por el serpentín. Debido a que la masa del vapor es superior con relación a la del aceite esencial, los cálculos pertinentes se los realiza considerando que la mezcla fuese vapor de agua. A continuación, se detallan los parámetros iniciales para el diseño con respecto a temperaturas de trabajo en la Tabla 23 junto con un esquema de temperaturas en la Figura 68 donde se representa de mejor manera la entrada y salida de los fluidos que intervienen.

**Tabla 23** Parámetros de diseño condensador


<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Detalle</b>
$T_1$	100 °C	Temperatura del vapor a la entrada del condensador.
$T_2$	40 °C	Temperatura del vapor a la salida del condensador.
$t_1$ (asumida)	16 °C	Temperatura del agua como refrigerante al entrar al condensador.
$t_2$ (asumida)	45 °C	Temperatura del agua como refrigerante al salir del condensador.
$\dot{m}_{mezcla}$	64 kg/h	Flujo masico del fluido que circula dentro del serpentín.



**Figura 68** Esquema temperaturas

En cuanto al material se elige un acero inoxidable de la serie 300 cuyas características se detallan en la Tabla 24 o en el ANEXO 5.

**Tabla 24** Características de tubería

AISI 304	Código	Diámetro nominal [in]
	C134000	1/2
	Diámetro externo [mm]	Diámetro interno [mm]
	$d_e = 15.88$	$d_i = 14.28$
	Espesor [mm]	Peso [gr/cm]
	$e = 0.8$	3.01

### 3.4.2.1 Diseño del serpentín Parte I

#### a) Área de la sección transversal de la tubería

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (\text{Ec. 3.34})$$

Donde,

$d$ : Diámetro interno o externo de la tubería en mm

$$A_{sec} = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$$

$$A_{sec} = \frac{\pi(14.28 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_{sec} = 160.16 \text{ mm}^2$$

$$A_{sec} = \mathbf{1.602 * 10^{-4} m^2}$$

**b) Paso**

$$p = 1.5 \cdot d_e \quad (\text{Ec. 3.35})$$

$$p = 1.5(0.01588)m$$

$$\mathbf{p = 0.024 m}$$

**c) Diámetro interno de la espiral**

$$Di_{espiral} = B + d_e \quad (\text{Ec. 3.36})$$

$$Di_{espiral} = 0.15 + 0.0158$$

$$\mathbf{Di_{espiral} = 0.168 m}$$

**d) Diámetro externo de la espiral**

$$De_{espiral} = B + 2d_e + d_e \quad (\text{Ec. 3.37})$$

$$De_{espiral} = 0.15 + 2(0.0158) + 0.0158$$

$$\mathbf{De_{espiral} = 0.193 m}$$

**e) Diámetro promedio**

$$D_h = \frac{Di_{helice} + De_{helice}}{2} \quad (\text{Ec. 3.38})$$

$$D_h = \frac{0.168 + 0.193}{2}$$

$$\mathbf{D_h = 0.18 m}$$

**f) Longitud de serpentín**



$$L_s = N \cdot \sqrt{\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{D_h}{2}\right)^2 + p^2} \quad (\text{Ec. 3.39})$$

Donde,

$N$ : Numero de vueltas teóricas del serpentín

$D_h$ : Diámetro promedio del serpentín en m

$p$ : Paso entre espiras en m

$$L_s = N \cdot \sqrt{\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{0.18}{2}\right)^2 + 0.024^2}$$

$$L_s = (0.75N) \text{ m} \quad (\text{Ec. 3.40})$$

De la ecuación 3.35 obtenemos la Ec. 3.36 la cual está en función del número de vueltas del serpentín ( $N$ ) el cual se determinará más adelante.

#### g) Volumen del serpentín

$$V_{serp} = \frac{\pi \cdot L_s \cdot d_e^2}{4} \quad (\text{Ec. 3.41})$$

$$V_{serp} = \frac{\pi \cdot (0.75N)(0.0158)^2}{4}$$

$$V_{serp} = (0.000148N) \text{ m}^3 \quad (\text{Ec. 3.42})$$

Al igual que en el apartado anterior, de la Ec. 3.41 obtenemos la Ec. 3.42 la cual está en función del número de vueltas del serpentín ( $N$ ) el cual se determinará más adelante.

#### h) Área de la coraza

$$A_c = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \quad (\text{Ec. 3.43})$$

$$A_c = \frac{\pi \cdot (0.226 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_c = 0.0401 \text{ m}^2$$

**i) Volumen de la coraza**

$$V_{co} = \frac{\pi}{4} * (Di^2 - B^2) * p \quad (\text{Ec. 3.44})$$

$$V_{co} = \frac{\pi}{4} * ((0.226)^2 - (0.15)^2)(0.024)m$$

$$V_{co} = \mathbf{0.000538 \text{ m}^3}$$

**j) Volumen de flujo**

$$V_{flujo} = V_{co} - V_{serp} \quad (\text{Ec. 3.45})$$

$$V_{flujo} = 0.000538 - 0.000148N$$

$$V_{flujo} = \mathbf{(0.00039N) \text{ m}^3}$$

**k) Diámetro equivalente de la coraza**

$$D_{eq} = \frac{4 * V_{flujo}}{\pi * de * L_s} \quad (\text{Ec. 3.46})$$

$$D_{eq} = \frac{4 (0.00039N)}{\pi(0.01588)(0.75N)}$$

$$D_{eq} = \mathbf{0.042 \text{ m}}$$

**3.4.2.2 Calor del proceso**

Se determinan los valores del calor requerido para la condensación y el calor usado para el subenfriamiento de la mezcla de los cuales la sumatoria nos muestra el calor requerido para el proceso.

**a) Calor de condensación**

$$Q_{cond} = \dot{m}_{mezcla} * h_{fg} \quad (\text{Ec. 3.47})$$

Donde,

$\dot{m}_{mezcla}$ : Flujo másico de la mezcla en kg/h

$h_{fg}$ : Entalpia en la fase de vaporización de la mezcla en KJ/Kg

$h_{fg} = 2675.6 \text{ KJ/Kg}$  (ANEXO 6, Tabla A-4 del libro Termodinámica de Yunus A. Cengel)

$$Q_{cond} = (64 \text{ kg/h})(2675.6 \text{ KJ/Kg})$$

$$\mathbf{Q_{cond} = 171238.4 \text{ KJ/h}}$$

#### b) Calor de subenfriamiento

$$Q_{sub} = \dot{m}_{mezcla} * C_{pmezcla} * \Delta T_{sub} \quad (\text{Ec. 3.48})$$

Donde,

$\dot{m}_{mezcla}$ : Flujo másico de la mezcla en kg/h

$C_{pmezcla}$ : Calor específico del fluido que pasa por el interior del serpentín en KJ/kg K

$\Delta T_{sub}$ : Variación de temperatura de subenfriamiento en [°C]

$C_p = 2.029 \text{ KJ/kg.K}$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$Q_{sub} = (64 \text{ kg/h})(2.029 \text{ KJ/kg.K})(45 - 16)^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{Q_{sub} = 3765.82 \text{ KJ/h}}$$

#### c) Calor total

$$Q_{total} = Q_{cond} + Q_{sub}$$

$$Q_{total} = (171238.4 + 3765.82)\text{KJ/h}$$

$$\mathbf{Q_{total} = 175004.22 \text{ KJ/h}}$$

#### d) Calor intercambiado en el sistema

$C_{pmezcla} = 1.977 \text{ kJ/kg.K}$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$Q = m_{mezcla} \cdot C_{pmezcla} \cdot (T_e + T_s)$$

$$Q = (64 \text{ kg/h})(1.977)(100 - 40)$$

$$\mathbf{Q = 7434.24 \text{ KJ/h}}$$

### 3.4.2.3 Flujo másico del refrigerante

Para el proceso de enfriamiento se usará agua extraída de un pozo cercano la cual actuará como fluido refrigerante. De la Ec. 3.31 intercambiamos las variables de mezcla por las de refrigerante.

$C_{p_{refri}} = 4.185 \text{ kJ/kg.K}$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$Q = \dot{m}_{refri} * C_{p_{refri}} * \Delta T$$
$$m_{refri} = \frac{Q}{C_{p_{refri}} \cdot \Delta T}$$
$$m_{refri} = \frac{175004.22 \text{ kJ/h}}{4.185 (45 - 16)^\circ\text{C}}$$
$$m_{refri} = \mathbf{1444.38 \text{ kg/h}}$$

En este tipo de sistemas es necesario el análisis de dos fases importantes que ocurren durante el proceso la cual es la Fase de condensación y la Fase de enfriamiento.

#### a) Temperaturas promedio

Se calculan temperaturas promedio de los fluidos que intervienen en el sistema, a partir de dichas temperaturas se determinaran las propiedades termodinámicas de cada fluido.

#### b) Mezcla

$$T_{mezcla} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$
$$T_{mezcla} = \frac{100 + 40}{2}$$
$$T_{mezcla} = \mathbf{70^\circ\text{C}}$$

#### c) Refrigerante

$$T_{mezcla} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$
$$T_{mezcla} = \frac{45 + 16}{2}$$

$$T_{mezcla} = 30.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 3.4.2.4 Cálculos para el fluido caliente

#### a) Caudal volumétrico

$$q_{mezcla} = \frac{\dot{m}_{mezcla}}{\rho_{mezcla}} \quad (\text{Ec. 3.49})$$

$\rho_{mezcla} = 977.5 \text{ kg/m}^3$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$q_{mezcla} = \frac{64 \text{ kg/h}}{977.5 \text{ kg/m}^3}$$

$$q_{mezcla} = 0.065 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### b) Velocidad

$$v_{mezcla} = \frac{q_{mezcla}}{A_{sec}} \quad (\text{Ec. 3.50})$$

$$v_{mezcla} = \frac{0.065 \text{ m}^3/\text{h}}{1.602 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$v_{mezcla} = 405.74 \text{ m/h}$$

#### c) Reynolds

$$Re_{mezcla} = \frac{di * v_{mezcla} * \rho_{mezcla}}{\mu_{mezcla}} \quad (\text{Ec. 3.51})$$

Ecuación útil para  $50 < Re < 10000$

Donde,

$di$ : Diámetro interior del tubo en m

$\mu_{mezcla}$ : Viscosidad dinámica de la mezcla en kg/m.h

$\mu_{mezcla} = 1.454 \text{ kg/m.h}$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$Re_{mezcla} = \frac{(0.01428 \text{ m})(405.74 \text{ m/h})(977.5 \text{ kg/m}^3)}{1.454 \text{ kg/m.h}}$$

$$Re_{mezcla} = 3895.18$$

**d) Numero de Prandtl**

Leído del ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel.

$$Pr_{mezcla} = 2.55$$

**e) Coeficiente de transferencia de calor basado en el diámetro interior del serpentín**

$$hi = \frac{k_{mezcla}}{di} Re^{0.8} Pr^{0.33} \left( \frac{\mu_{agua}}{\mu_p} \right)^{0.14} \quad (\text{Ec. 3.52})$$

Donde,

$k_{mezcla}$ : Conductividad térmica en W/m. K

$\frac{\mu_{agua}}{\mu_p}$ : Se establece un valor de 1 según lo dice Eduardo C. en su libro Heat Transfer in Process Engineering

$k_{mezcla} = 0.663 \text{ W/m.K}$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$hi = \frac{0.663 \text{ W/m K}}{0.01428 \text{ m}} (3895.18)^{0.8} (2.5)^{0.33} (1)^{0.14}$$

$$hi = 1054.13 \text{ KJ/h.m}^2 \cdot \text{K}$$

**f) Coeficiente pelicular corregido de transferencia de calor para serpentines**

$$hic = hi \left[ 1 + 3.5 \left( \frac{di}{Dh} \right) \right] \quad (\text{Ec. 3.53})$$

$$hic = (1054.13 \text{ KJ/h.m}^2 \cdot \text{K}) \left[ 1 + 3.5 \left( \frac{0.01428 \text{ m}}{0.18 \text{ m}} \right) \right]$$

$$hic = 1346.82 \text{ KJ/h.m}^2 \cdot \text{K}$$

g) Coeficiente de transferencia de calor basado en el diámetro exterior del serpentín

$$h_{io} = h_{ic} \left( \frac{d_i}{d_e} \right) \quad (\text{Ec. 3.54})$$

$$h_{io} = (1346.82 \text{ KJ/h.m}^2.\text{K}) \left( \frac{0.01428 \text{ m}}{0.01588 \text{ m}} \right)$$

$$\mathbf{h_{io} = 1211.13 \text{ KJ/h.m}^2.\text{K}}$$

### 3.4.2.5 Cálculos para el fluido frío

a) Caudal volumétrico

$$q_{mezcla} = \frac{\dot{m}_{agua}}{\rho_{agua}} \quad (\text{Ec. 3.55})$$

$\rho_{agua} = 4.178 \text{ kg/m}^3$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$q_{agua} = \frac{1444.38 \text{ kg/h}}{4.178 \text{ kg/m}^3}$$

$$\mathbf{q_{agua} = 345.71 \text{ m}^3/\text{h}}$$

b) Velocidad

$$v_{agua} = \frac{q_{agua}}{A_c} \quad (\text{Ec. 3.56})$$

$$v_{agua} = \frac{345.71 \text{ m}^3/\text{h}}{0.0401 \text{ m}^2}$$

$$v_{agua} = 8621.19 \text{ m/h}$$

$$\mathbf{v_{agua} = 2.39 \text{ m/s}}$$

c) Velocidad másica del fluido de la coraza

$$V_{agua} = \frac{\dot{m}_{agua}}{\left[ \frac{\pi}{4} ((D_i^2 - B^2) - (D_{e_{\text{espiral}}}^2 - D_{i_{\text{espiral}}}^2)) \right]} \quad (\text{Ec. 3.57})$$

$$V_{agua} = \frac{1444.38 \text{ kg/h}}{\left[ \frac{\pi}{4} ((0.226^2 - 0.15^2) - (0.1925^2 - 0.168^2)) \right]}$$

$$\mathbf{V_{agua} = 93145.51 \text{ kg/m}^2.\text{h}}$$

#### d) Reynolds

$$Re_{mezcla} = \frac{D_{eq} V_{agua}}{\mu_{agua}} \quad (\text{Ec. 3.58})$$

Ecuación útil para  $50 < Re < 10000$

Donde,

$D_{eq}$ : Diámetro equivalente de la coraza en m

$\mu_{agua}$ : Viscosidad dinámica de la mezcla en kg/m.h

$\mu_{agua} = 2.87 \text{ kg/m.h}$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$Re_{agua} = \frac{(0.042 \text{ m})(93145.51 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h})}{2.87 \text{ kg/m.h}}$$
$$Re_{mezcla} = 1363.10$$

#### e) Numero de Prandtl

Leído en el ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel.

$$Pr_{mezcla} = 5.42$$

#### f) Coeficiente de transferencia de calor del refrigerante

$$h_o = 0.6 \frac{k_{agua}}{D_{eq}} Re^{0.5} Pr^{0.31} \quad (\text{Ec. 3.59})$$

Donde,

$k_{agua}$ : Conductividad térmica en [W/m. K].

$k_{agua} = 0.615 \text{ W/m.K}$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$h_o = 0.6 \frac{0.615 \text{ W/m.K}}{0.042 \text{ m}} (1363.10)^{0.5} (2.5)^{0.33} (1)^{0.14}$$
$$h_o = 547.75 \text{ KJ/h.m}^2 \cdot \text{K}$$



### 3.4.2.6 Coeficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{io}} + \frac{e}{k_{acero}} + R_{mezcla} + R_{agua}} \quad (\text{Ec. 3.60})$$

Donde,

$h_o$ : Coeficiente de transferencia de calor del agua en  $\text{KJ/h.m}^2 \cdot \text{K}$

$h_{io}$ : Coeficiente de transferencia de calor de la mezcla en  $\text{KJ/h.m}^2 \cdot \text{K}$

$e$ : Espesor de la tubería usada en m

$k_{acero}$ : Conductividad térmica del acero AISI 304 en  $\text{W/m} \cdot \text{K}$

$R_{mezcla}$ : Factor de ensuciamiento para la mezcla

$R_{agua}$ : Factor de ensuciamiento para el agua

$k_{acero} = 15 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  (ANEXO 7, Ficha técnica de Carbone Stainless Steel)

$R_{mezcla} = 0.000528$  (ANEXO 8, Factor de ensuciamiento para intercambiadores de calor)

$R_{agua} = 0.000176$  (ANEXO 8, Factor de ensuciamiento para intercambiadores de calor)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{547.75 \text{ KJ/h.m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{1}{1211.13 \text{ KJ/h.m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{0.008}{15 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + 0.000528 + 0.000176}$$
$$U = 298.28 \text{ KJ/h.m}^2 \cdot \text{K}$$

### 3.4.2.7 Fase de condensación

Temperatura del agua a la entrada del condensador.

$Cp_{agua} = 4.178 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$Q_{agua} = \dot{m}_{agua} Cp_{agua} \Delta T$$

$$Q_{agua} = \dot{m}_{agua} C_{p_{agua}} (t_2 - t')$$

$$t' = t_2 - \frac{Q_{agua}}{\dot{m}_{agua} C_{p_{agua}}}$$

$$Q_{cond} = Q_{agua}$$

$$t' = 45 - \frac{171238.4 \text{ KJ/h}}{(1444.38 \text{ kg/h})(4.178 \text{ kJ/kg.K})}$$

$$t' = 16.62 \text{ }^\circ\text{C}$$

**a) Media logarítmica de la diferencia de temperatura**

$$MLDT = \frac{(T_{sat} - t') - (T_{sat} - t_2)}{\ln\left(\frac{T_{sat} - t'}{T_{sat} - t_2}\right)} \quad (\text{Ec. 3.61})$$

$$MLDT = \frac{(100 - 16.62) - (100 - 45)}{\ln\left(\frac{100 - 16.62}{100 - 45}\right)}$$

$$MLDT = 68.21 \text{ }^\circ\text{C}$$

**b) Diferencia de temperatura corregida**

$$\Delta t = MLDT Ft \quad (\text{Ec. 3.62})$$

Donde,

*Ft*: Facto de corrección igual a 0.99 según lo indica Eduardo C. en su libro Heat Transfer in Process Engineering.

$$\Delta t = 0.99(68.21)$$

$$\Delta t = 67.53 \text{ }^\circ\text{C}$$

**c) Área de transferencia de calor para la condensación**

$$At_{cond} = \frac{Q}{U \Delta t} \quad (\text{Ec. 3.63})$$

$$At_{cond} = \frac{7434.24 \text{ KJ/h}}{(298.28 \text{ KJ/h.m}^2.\text{K})(67.53)^\circ\text{C}}$$

$$At_{cond} = 0.38 \text{ m}^2$$

### 3.4.2.8 Fase de enfriamiento

#### a) Calor por extraer

Del calor para el enfriamiento calculado anteriormente.

$$Q_{sub} = 3765.82 \text{ KJ/h}$$

#### b) Temperatura media

$$Q_{agua} = \dot{m}_{agua} C_{p_{agua}} (t'' - t_1)$$
$$t'' = \frac{Q_{agua}}{\dot{m}_{agua} C_{p_{agua}}} + t_1$$
$$Q_{sub} = Q_{agua}$$
$$t'' = \frac{3765.82 \text{ KJ/h}}{(1444.38 \text{ kg/h})(4.178 \text{ kJ/kg.K})} + 16^\circ\text{C}$$
$$t'' = 16.54^\circ\text{C}$$

Al obtener una temperatura de salida de la zona de enfriamiento muy similar a la temperatura de entrada a la zona de condensación, verificamos que la temperatura de salida del agua como refrigerante efectivamente adquiere un valor de 45°C.

#### c) Media logarítmica de la diferencia de temperatura

$$MLDT = \frac{(t_2 - t'') - (T_{sat} - T_2)}{\ln\left(\frac{t_2 - t''}{T_{sat} - T_2}\right)} \quad (\text{Ec. 3.64})$$
$$MLDT = \frac{(45 - 16.54) - (100 - 40)}{\ln\left(\frac{45 - 16.54}{100 - 40}\right)}$$
$$MLDT = 42.29^\circ\text{C}$$

#### d) Diferencia de temperatura corregida

$$\Delta t = MLDT Ft \quad (\text{Ec. 3.65})$$

Donde,

$Ft$ : Facto de corrección igual a 0.99 según lo indica Eduardo C. en su libro Heat Transfer in Process Engineering.

$$\Delta t = 0.99(42.29)$$

$$\Delta t = 41.86 \text{ } ^\circ\text{C}$$

e) **Área de transferencia de calor para la condensación**

$$At_{sub} = \frac{Q}{U \Delta t} \quad (\text{Ec. 3.66})$$

$$At_{sub} = \frac{7434.24 \text{ KJ/h}}{(298.28 \text{ KJ/h.m}^2.\text{K})(41.86)^\circ\text{C}}$$

$$At_{sub} = 0.58 \text{ m}^2$$

f) **Área total del condensador**

$$A_T = At_{cond} + At_{sub}$$

$$A_T = (0.38 + 0.58) \text{ m}^2$$

$$A_T = 0.96 \text{ m}^2$$

Muestra el área total mínima que debe poseer el condensador para hacer cambiar de fase al vapor, así como la temperatura necesaria para hacer que el aceite esencial se separe del agua exitosamente.

### 3.4.2.9 Diseño serpentín parte II

Una vez obtenida el área de transferencia de calor para la condensación se puede determinar el número de vueltas reales para dimensionar el serpentín.

a) **Numero de vueltas reales**

$$N = \frac{At_{cond}}{\pi de \left(\frac{L_s}{N}\right)} \quad (\text{Ec. 3.67})$$

$$N = \frac{0.38 \text{ m}^2}{\pi(0.01588 \text{ m}) \left(\frac{0.75N}{N}\right)}$$

$$N = 10.15 \text{ vueltas}$$

$$N = 11 \text{ vueltas}$$

Una vez obtenido el número de vueltas, se procede a calcular los valores restantes que quedaron en función de la variable N.

**b) Longitud del serpentín**

$$\begin{aligned}L_s &= (0.75N) m \\L_s &= (0.75)(11) m \\L_s &= \mathbf{8.25 m}\end{aligned}$$

**c) Volumen del serpentín**

$$\begin{aligned}V_{serp} &= (0.000148N)m^3 \\V_{serp} &= (0.000148)(11)m^3 \\V_{serp} &= \mathbf{0.00163m^3}\end{aligned}$$

**d) Volumen de flujo**

$$\begin{aligned}V_{flujo} &= (0.00039 N) m^3 \\V_{flujo} &= (0.00039)(11) m^3 \\V_{flujo} &= \mathbf{0.0043 m^3}\end{aligned}$$

**e) Altura teórica de la coraza**

$$\begin{aligned}H &= N p + 2 de \\H &= (11)(0.024 m) + 2(0.01588 m) \\H &= \mathbf{0.301 m}\end{aligned}$$

**f) Caída de presión**

Se determina las caídas de presión que tiene lugar en cada uno de los fluidos al estar en procesos separados. Miller E, en su libro Heat Exchanger Design Handbook, expone que en los intercambiadores de calor no deben existir caídas de presión mayores a 10 Pa para el fluido refrigerante y 0.5 Pa para el fluido caliente [30].

Coeficiente de arrastre para el fluido frío

$$\begin{aligned}C_A &= \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \left[ 1 + 0.095 \left( \frac{de}{Dh} \right)^{0.5} Re^{0.25} \right] \quad (\text{Ec. 3.68}) \\C_A &= \frac{0.3164}{1363.10^{0.25}} \left[ 1 + 0.095 \left( \frac{0.01588}{0.18} \right)^{0.5} 1363.10^{0.25} \right] \\C_A &= \mathbf{0.0609}\end{aligned}$$

Caída de presión del fluido frío

$$\Delta P_{agua} = C_A \frac{H}{D_{eq}} \frac{v_{agua}^2 * \rho}{2} \quad (\text{Ec. 3.69})$$

$$\Delta P_{agua} = 0.0609 \frac{0.301 \text{ m}}{0.042 \text{ m}} \frac{(2.39 \text{ m/s})^2 (4.178 \text{ kg/m}^3)}{2}$$

$$\Delta P_{agua} = \mathbf{5.207 \text{ Pa}}$$

Se observa que la caída de presión del fluido frío es aceptable al ser de 5.207 Pa lo cual es menor al valor permisible de 10 Pa.

**g) Factor E para el fluido caliente**

$$E = Dh * \left[ 1 + \left( \frac{p}{\pi Dh} \right)^2 \right] \quad (\text{Ec. 3.70})$$

$$E = 0.18 \text{ m} \left[ 1 + \left( \frac{0.024 \text{ m}}{\pi(0.18 \text{ m})} \right)^2 \right]$$

$$E = \mathbf{0.1803 \text{ m}}$$

**h) Factor de fricción**

$$f_{mezcla} = \left[ \frac{0.3164}{Re^{0.25}} + 0.03 \left( \frac{di}{E} \right)^{0.5} \right] \left( \frac{\mu_{agua}}{\mu_p} \right)^{0.27} \quad (\text{Ec. 3.71})$$

$$f_{mezcla} = \left[ \frac{0.3164}{3895.18^{0.25}} + 0.03 \left( \frac{0.01428 \text{ m}}{0.1803 \text{ m}} \right)^{0.5} \right] (1)^{0.27}$$

$$f_{mezcla} = \mathbf{0.0501}$$

**i) Caída de presión del fluido caliente**

$$\Delta P_{mezcla} = f_{mezcla} * \frac{L_s}{di} * \frac{v_{mezcla}^2 * \rho}{2} \quad (\text{Ec. 3.72})$$

$$\Delta P_{mezcla} = 0.0501 * \frac{8.25 \text{ m}}{0.01428 \text{ m}} * \frac{\left( 0.113 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 (0.1983 \text{ kg/m}^3)}{2}$$

$$\Delta P_{mezcla} = \mathbf{0.036 \text{ Pa}}$$

Se observa que la caída de presión del fluido caliente es aceptable al ser de 0.036 Pa lo cual es menor al valor permisible de 0.5 Pa.

### 3.4.2.10 Cantidad de energía necesaria

Es necesario determinar la cantidad de calor necesario que se le debe aportar al sistema externamente para llegar a cumplir con los calculo anteriores, por tanto, realizamos un análisis de calores (calor sensible y calor latente) donde determinaremos el calor total para el sistema.

#### a) Calor sensible

Energía calorífica necesaria para que un cuerpo aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular ni su fase. En este caso el agua será el fluido protagonista el cual deberá cambiar de fase de líquido a vapor.

$$Q_S = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (\text{Ec. 3.73})$$

Donde,

$Q_S$ : Calor sensible en KJ

$m$ : Masa del fluido en kg

$C_p$ : Capacidad calorífica específica del fluido en KJ/Kg. °C

$\Delta T$ : Variación de la temperatura en °C

$C_{p_{agua}} = 4180 \text{ J/kg.K}$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$Q_S = (12 \text{ kg})(4.180 \text{ kJ/kg.K})(100 - 22)^\circ\text{C}$$

$$Q_S = 3912.48 \text{ kJ}$$

#### b) Presión absoluta

Presión a la que va a estar sometido el recipiente a presión y la cual debe de soportar sin sufrir ningún tipo de deformación o fisura.

$$P_{abs} = P_{efec} + P_{atm} \quad (\text{Ec. 3.74})$$

Donde,

$P_{efec}$ : Presión interna teórica que debe soportar el recipiente a presión en [psi].

$P_{atm}$ : Presión de la atmósfera de Latacunga que es donde va a operar la máquina en [psi].

$$P_{abs} = 40 \text{ psi} + 14.72 \text{ psi}$$

$$P_{abs} = 54.72 \text{ psi}$$

$$P_{abs} = 377.28 \text{ kPa}$$

### c) Calor latente

Energía calorífica necesaria para que un cuerpo modifique su estructura molecular y por ende cambie de fase.

$$Q_L = m \cdot h_{fg} \quad (\text{Ec. 3.75})$$

Donde,

$Q_L$ : Calor latente en KJ

$m$ : Masa del fluido en kg

$h_{fg}$ : Entalpia en fase de vaporización en KJ/Kg

Para el valor de  $h_{fg}$  observamos el valor establecido para una presión de 377.28 kPa en el ANEXO 9, Tabla A-5 del libro de Termodinámica de Cengel A.

**Tabla 25** Datos de interpolación para  $h_{fg}$

$P$ [kPa]	$h_{fg}$ [kJ/kg]
375	2140.4
400	2133.4
377.28	¿x?

Mediante interpolación lineal

$$x = 2139.76 \text{ kJ/kg}$$



$$Q_L = (12 \text{ kg})(2139.76 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_L = 25677.12 \text{ kJ}$$

#### d) Calor total

Cantidad de calor total que se debe suministrar al sistema para que el agua cambie de fase al estado gaseoso al igual que las moléculas orgánicas que contienen el AE en las hojas del eucalipto se rompan transformándose en gas para combinarse con el vapor de agua.

$$Q_T = Q_S + Q_L \quad (\text{Ec. 3.76})$$

Donde,

$Q_S$ : Calor sensible en KJ

$Q_L$ : Calor latente en KJ

$$Q_T = (3912.48 + 25677.12) \text{ kJ}$$

$$Q_T = 29589.6 \text{ kJ/h}$$

$$Q_T = 7067.35 \text{ kcal/h}$$

$$Q_T = 8210.16 \text{ W}$$

### 3.4.2.11 Perdidas de calor

#### a) Tanque

Mediante resistencias térmicas se puede determinar la pérdida de calor existente en el proceso. En la Figura 70 se plantea el circuito en serie de resistencias térmicas y con las ecuaciones Ec. 3.78 y Ec. 3.79 se calcula su valor en °C/W.

#### Temperatura superficial

$$\emptyset = 406 \text{ mm}$$

$$A_{tan} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4}$$

$$A_{tan} = \frac{\pi \cdot (0.406 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_{tan} = 0.129 \text{ m}^2$$

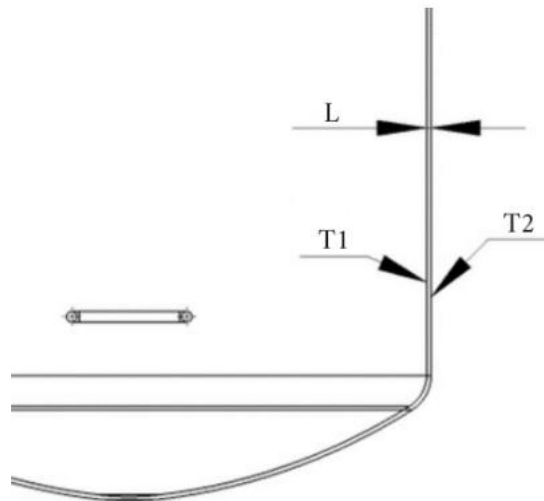
## Conducción

Mediante la Ec. 1.2 del capítulo I y despejando el valor de la temperatura 2 obtenemos la Ec. 3.77 para calcular el valor de la temperatura superficial del tanque.

$L = 3 \text{ mm}$  (espesor de pared)

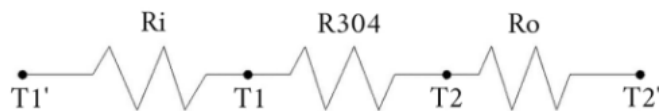
$k = 16 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  (ANEXO 1, Ficha técnica del acero AISI 304)

$$T_2 = \frac{\dot{Q}_{con} \cdot L}{kA} + T_1 \quad (\text{Ec. 3.77})$$
$$T_2 = \frac{(8210.16 \text{ W})(0.003 \text{ m})}{(16 \text{ W/m}\cdot\text{°C})(0.129 \text{ m}^2)} + 100 \text{ °C}$$
$$T_2 = 111.86 \text{ °C}$$



**Figura 69** Temperaturas del tanque

## Resistencias térmicas



**Figura 70** Resistencias térmicas

## Ambiente

$$R_{conv} = \frac{1}{hA} \quad (\text{Ec. 3.78})$$

Donde,

$h$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección

$A$ : Superficie donde se lleva a cabo la transferencia de calor

### **Pared**

$$R_{pared} = \frac{L}{kA} \quad (\text{Ec. 3.79})$$

Donde,

$L$ : Espesor de pared

$k$ : Conductividad térmica del material

$A$ : Superficie donde se lleva a cabo la transferencia de calor.

El área que se muestran a continuación son datos tomados del software CAE usado para el modelado del tanque contenedor.

$$A_{ex} = 1.02 \text{ m}^2$$

$$A_{in} = 1.0 \text{ m}^2$$

$$A_{304} = 2.05 \text{ m}^2$$

### **Exterior**

$$R_{conv1} = \frac{1}{hA_{ex}}$$

$$R_{conv1} = \frac{1}{(10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C})(1.02 \text{ m}^2)}$$

$$R_{conv1} = \mathbf{0.098 \text{ °C/W}}$$

### **Interior**

$$R_{conv2} = \frac{1}{hA_{in}}$$

$$R_{conv2} = \frac{1}{(5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C})(1.0 \text{ m}^2)}$$

$$R_{conv2} = 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

### Material

$k = 16 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$  (ANEXO 1, Ficha técnica del acero AISI 304)

$$R_{304} = \frac{L}{kA_{304}}$$
$$R_{304} = \frac{0.003 \text{ m}}{(16 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C})(2.05 \text{ m}^2)}$$
$$R_{304} = 0.0000914 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

### Total

$$R_T = R_{conv1} + R_{conv2} + R_{304}$$
$$R_T = (0.098 + 0.2 + 0.0000914) \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$
$$R_T = 0.29 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

### Razón de transferencia de calor

$$\dot{Q} = \frac{T'_1 - T'_2}{R_T} \quad (\text{Ec. 3.80})$$
$$\dot{Q} = \frac{(111.86 - 100) \text{ } ^\circ\text{C}}{0.29 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}}$$
$$\dot{Q} = 40.89 \text{ W}$$

Encontramos que la pérdida de calor por convección en el proceso es de 40.89 W.

### b) Condensador

Al igual que en el tanque calculamos las pérdidas de calor en el condensador con el mismo principio de conducción, convección y redes térmicas.

### Temperatura superficial

$$\emptyset = 230 \text{ mm}$$

$$A_{tan} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4}$$

$$A_{tan} = \frac{\pi \cdot (0.23 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_{tan} = 0.042 \text{ m}^2$$

### Conducción

$L = 2 \text{ mm}$  (espesor de pared)

$k = 16 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  (ANEXO 1, Ficha técnica del acero AISI 304)

$$T_m = \frac{(100 + 40)^\circ\text{C}}{2}$$

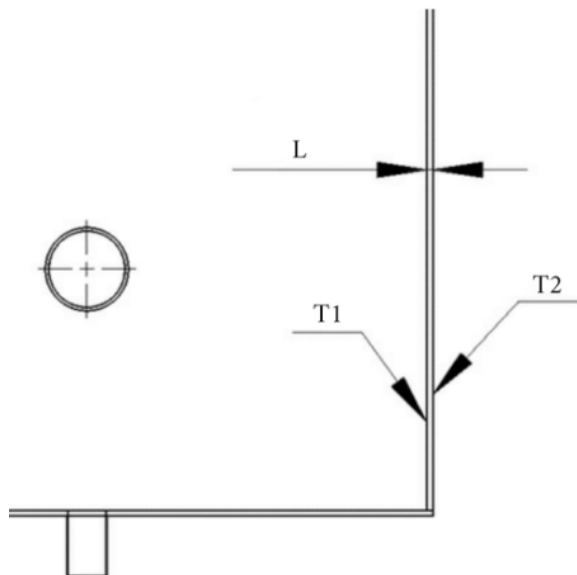
$$T_m = 70^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \frac{\dot{Q}_{con} \cdot L}{kA} + T_m$$

(Ec. 3.81)

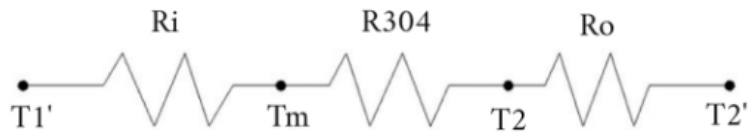
$$T_2 = \frac{(8210.16 \text{ W})(0.002 \text{ m})}{(16 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C})(0.042 \text{ m}^2)} + 70^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 94.45^\circ\text{C}$$



**Figura 71** Temperaturas del condensador

### Resistencias térmicas



**Figura 72** Resistencias térmicas

El área que se muestran a continuación son datos tomados del software CAE usado para el modelado del tanque contenedor.

$$A_{ex} = 0.34 \text{ m}^2$$

$$A_{in} = 0.33 \text{ m}^2$$

$$A_{304} = 0.68 \text{ m}^2$$

### Exterior

$$R_{conv1} = \frac{1}{hA_{ex}}$$

$$R_{conv1} = \frac{1}{(10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C})(0.34 \text{ m}^2)}$$

$$\mathbf{R_{conv1} = 0.29 \text{ °C/W}}$$

### Interior

$$R_{conv2} = \frac{1}{hA_{in}}$$

$$R_{conv2} = \frac{1}{(5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C})(0.33 \text{ m}^2)}$$

$$\mathbf{R_{conv2} = 0.6 \text{ °C/W}}$$

### Material

$k = 16 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$  (ANEXO 1, Ficha técnica del acero AISI 304)

$$R_{304} = \frac{L}{kA_{304}}$$

$$R_{304} = \frac{0.002 \text{ m}}{(16 \text{ W/m} \cdot \text{°C})(0.68 \text{ m}^2)}$$

$$\mathbf{R_{304} = 0.000184 \text{ °C/W}}$$

## Total

$$\begin{aligned}R_T &= R_{conv1} + R_{conv2} + R_{304} \\R_T &= (0.29 + 0.6 + 0.000184) \text{ }^\circ\text{C/W} \\R_T &= \mathbf{0.89 \text{ }^\circ\text{C/W}}\end{aligned}$$

## Razón de transferencia de calor

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \frac{T'_1 - T'_2}{R_T} && \text{(Ec. 3.82)} \\ \dot{Q} &= \frac{(94.45 - 70) \text{ }^\circ\text{C}}{0.89 \text{ }^\circ\text{C/W}} \\ \dot{Q} &= \mathbf{27.47 \text{ W}}\end{aligned}$$

Encontramos que la pérdida de calor por convección en el proceso es de 27.47 W y por consiguiente una pérdida de calor total de 68.36 W.

### 3.4.2.12 Fuente de energía

Para suministrar calor al sistema se ha optado por la instalación de un sistema de quemador industrial al fondo del tanque contenedor el cual obtiene su poder de un tanque de gas industrial de GLP de 30 kg y 55.5 litros de capacidad; sus datos se especifican en la Tabla 4.

#### a) Calor del GLP

$$\begin{aligned}Q_{GLP} &= P c V && \text{(Ec. 3.83)} \\ Q_{GLP} &= (6.350 \text{ kcal/l})(55.5\text{l}) \\ Q_{GLP} &= 352.43 \text{ kcal} \\ Q_{GLP} &= \mathbf{1474567.12 \text{ kJ/h}}\end{aligned}$$

#### b) Calor necesario

$$\begin{aligned}Q_n &= Q_T \\ Q_n &= 29589.6 \text{ kJ/h} < 1474567.12 \text{ kJ/h}\end{aligned}$$

Determinamos que un cilindro de G.L.P de 30 kg industrial proporciona la cantidad de energía necesaria para completar el proceso de evaporización del agua para la extracción de las moléculas de AE.

### c) Selección de quemador

#### Crterios

- **Temperatura:** El valor de temperatura que se requiere aplicar al sistema para el funcionamiento que en este caso son 100°C como base limite, pero puede aportar mayor temperatura.
- **Combustible:** La naturaleza del combustible el cual va a alimentar el quemador. En este caso se ha decidido el uso de GLP.
- **Capacidad:** Toda la energía que el quemador es capaz de entregar en un determinado tiempo de trabajo, para nuestro caso debe lograr aportar energía calorífica igual o superior a la 7067.35 kcal/h.

### d) Modelo elegido

Tras consultar en fuentes bibliográficas relacionadas con la combustión, catálogos de quemadores y verificando su disponibilidad en el mercado ecuatoriano se ha logra determinar el modelo de quemador más adecuado es el R-63 atmosférico circular de la marca Wayler Quemadores el cual entrega 8500 kcal/h que es un valor superior a las 7067.35 kcal/h requeridos. Sus características técnicas se detallan en la Figura 73 o su catálogo en el ANEXO 10.

Sistemas atmosféricos

Modelo	Capacidad kcal/h		M/M cuerpo	Entrada de gas
	Gas natural	GLP		
R-40	5000	4000	120	½ in
R-48	7500	6000	140	½ in
<b>R-63</b>	12000	8500	180	½ in
R-100	20000	15000	210	½ in
R-130	28000	21000	240	½ in
R-199	45000	30000	330	½ in
R-130/73	65000	45000	370	¾ in
R-130/258	100000	90000	500	1 in

Figura 73 Características técnicas quemador HAT [32]



### e) Tiempo de energía

$$t_{GLP} = \frac{Q_{GLP}}{Q_n} \quad (\text{Ec. 3.84})$$
$$t_{GLP} = \frac{1474567.12 \text{ kJ}}{29589.6 \text{ kJ/h}}$$
$$t_{GLP} = \mathbf{49.83 \text{ h}}$$

El tiempo de energía total continua teórica que el cilindro de gas proporciona es de 49.83 horas. Este valor es referencia ya que no se considera el uso de un quemador. Con la Ec. 3.84 podemos determinar las horas de trabajo que el tanque de gas junto con el quemador seleccionado es capaz de ofrecer.

$$T = \frac{V}{\text{consumo}} \quad (\text{Ec. 3.85})$$
$$T = \frac{55.5 \text{ litros}}{4 \text{ litros/h}}$$
$$T = \mathbf{13.88 \text{ h}}$$

Encontramos que el cilindro de gas de 30 kg con el quemador R-63 instalado rinde alrededor de 14 horas de trabajo y teniendo en cuenta que cada proceso de extracción de AE de eucalipto toma 60 minutos, se puede afirmar que se logra 14 tandas de aceite esencial antes de que se deba reemplazar o recargar el cilindro.

#### 3.4.2.13 Diseño de tapa agujerada

En esta superficie es donde se va a apoyar el material vegetal para que no exista contacto con el agua. en su libro, el ingeniero Tim Denny [30], explica que para una correcta extracción de las moléculas de oleicas contenidas en la planta esta debe envolver la planta a manera de gas para lograr la convección de al menos 7 W.

Usamos el concepto de transferencia de calor por convección del capítulo I y de la Ec. 1.1 despejamos el valor del área mínima requerida para lograr el paso adecuado del vapor, además se establece que se realizaran agujeros de 12.7 mm (1/2 in) de diámetro.

$$h = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} \text{ (Figura 6, Libro Transferencia de Calor de Cengel)}$$

$$A_s = \frac{\dot{Q}_{conv}}{h \cdot \Delta T} \quad (\text{Ec. 3.86})$$

$$A_s = \frac{7W}{5 W/m^2 \cdot C (100 - 25)^\circ C}$$

$$A_s = \mathbf{0.0187 m^2}$$

**a) Área unitaria**

$$\phi = 0.0127 m$$

$$A = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0.0127 m)^2}{4}$$

$$A = \mathbf{0.000125 m^2}$$

**b) Numero de agujeros**

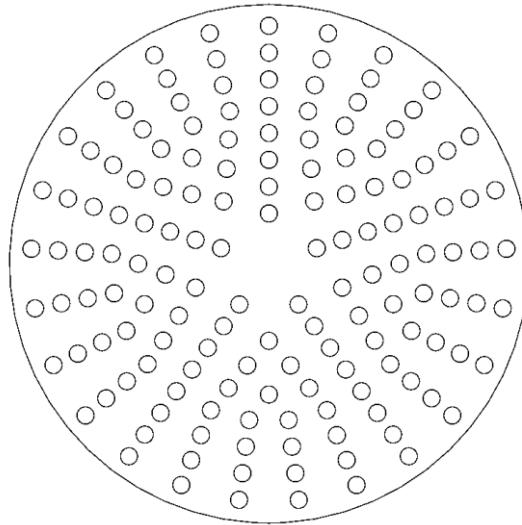
$$N = \frac{A_s}{A} \quad (\text{Ec. 3.87})$$

$$N = \frac{0.0187 m^2}{0.000125 m^2}$$

$$N = 149.6$$

$$N = \mathbf{150}$$

Se obtiene que en la tapa se deben acomodar 150 agujeros de 1/2 in de diámetro para cumplir con la convección adecuada del vapor con el material vegetal. En la Figura 74 se muestra un esquema de cómo se pueden acomodar los agujeros en la chapa metálica de acero inoxidable.



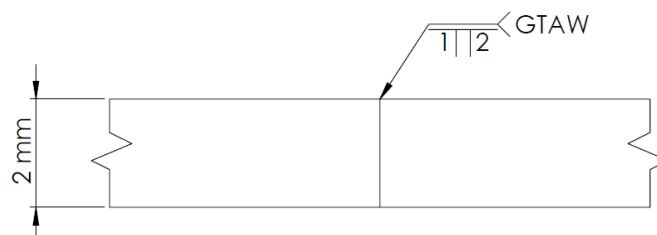
**Figura 74** Distribución de agujeros

### 3.5 Diseño de juntas soldadas

Se toma como referencia la norma estadounidense AWS D1.1 “Código de soldadura estructural – Acero” para el diseño de las juntas con respecto a la soldadura del cuerpo del cilindro, cabeza con el cuerpo del cilindro, cilindro con brida y tapa cónica.

#### 3.5.1 Junta para el cuerpo del cilindro

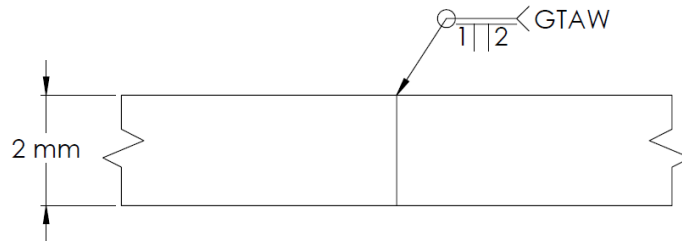
En la **Figura 75** se muestra el símbolo de soldadura para una junta a tope con una lámina de acero de 2 mm de espesor. En la cota se indica que la raíz de la junta tendrá un valor de 1 mm y un ancho de garganta de 2 mm bajo el proceso GTAW. Esta configuración también se aplica para la soldadura de la tapa cónica.



**Figura 75** Junta cuerpo del cilindro

#### 3.5.2 Junta para unión entre cabeza y cuerpo del cilindro

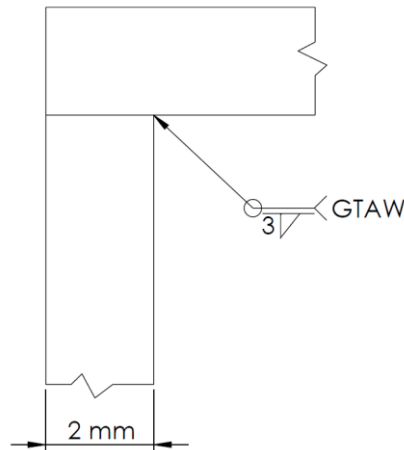
Para realizar la unión del cilindro con el fondo y formar el recipiente se hace uso del diseño de junta mostrado en la Figura 76, donde su cota indique que el proceso es realizado en todo el contorno del cilindro con un ancho de garganta de 1 mm acompañado de una separación de 2 mm en paralelo entre caras de las placas a soldar.



**Figura 76** Junta cabeza y cuerpo

### 3.5.3 Junta para la brida

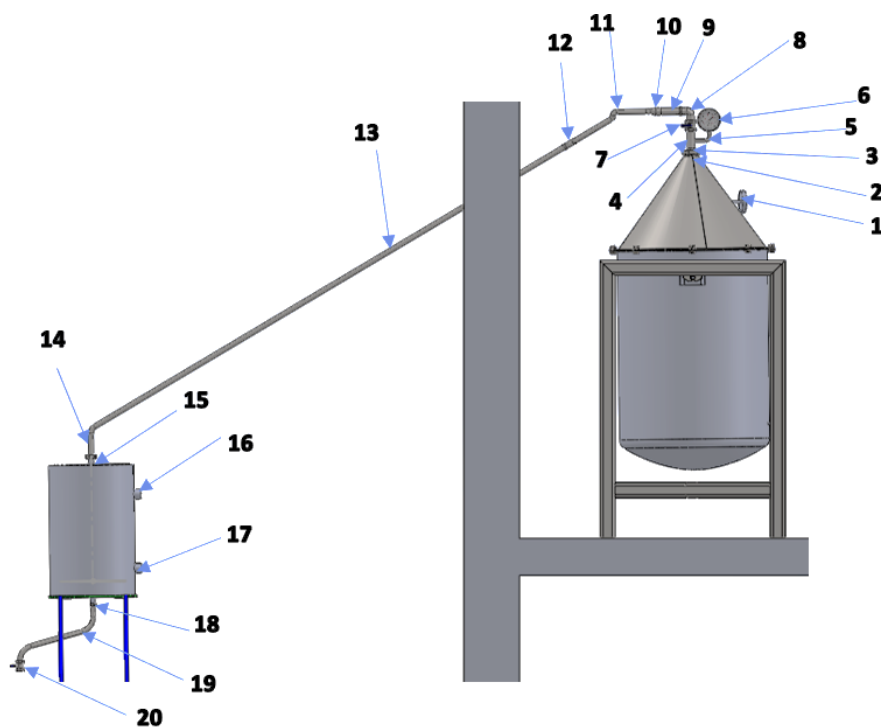
La última soldadura aplicable al recipiente es la unión con la brida donde se sujetan los pernos. Se emplea una soldadura de contorno en configuración de filete con un ancho de garganta de 3 mm con proceso GTAW tal como se indica en la Figura 77.



**Figura 77** Junta para brida

### 3.6 Accesorios

Con los cálculos y resultados anteriores se procederá a seleccionar los accesorios de acople que unirán estos dos sistemas, la separación entre zona es de 1.8 metros y es importante recordar que los accesorios serán de acero inoxidable 304 que trabajan con transporte de fluidos calientes a alta presión. Del ANEXO 11 se seleccionará las diferentes medidas.



**Figura 78** Ensamblado de tuberías y accesorios

El sistema completo de extracción de AE requiere de conexiones, a varios accesorios como válvulas, codos, uniones las cuales deben ser la adecuadas para el trabajo y garantizar una completa hermeticidad. A continuación, se detallan los accesorios involucrados en la Tabla 26 y su lugar de ensamblado en la Figura 78.

**Tabla 26** Accesorios

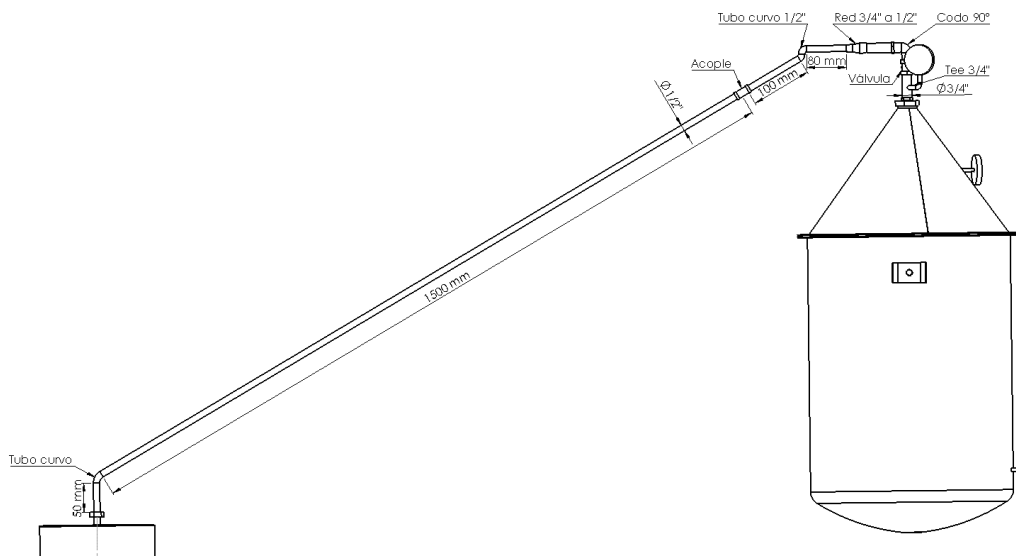
N°	Descripción	Medida	Cantidad
1	Medidor de temperatura industrial	1/4"	1
2	Acople roscado	1- 1/2"	1
3	Acople roscado	3/4"	1
4	Tubo recto	3/4"	10 cm
5	Tubo curvo 90°	1/4"	15 cm
6	Indicador de presión de glicerina	1/4"	1
7	Válvulas de bola	3/4"	1
8	Codo	3/4"	1

9	Acople roscado	$\frac{3}{4}$ "	1
10	Reductor	$\frac{3}{4}$ " - $\frac{1}{2}$ "	1
11	Tubo curvo con ángulo	$\frac{1}{2}$ "	1
12	Acople remachado	$\frac{1}{2}$ "	1
13	Tubo recto	$\frac{1}{2}$ "	1.6 m
14	Acople remachado y roscado	$\frac{1}{2}$ "	1
15	Tubo roscado	$\frac{1}{2}$ "	10 cm
16	Tubo roscado	$\frac{3}{4}$ "	5 cm
17	Tubo roscado	$\frac{3}{4}$ "	5 cm
18	Tubo roscado	$\frac{1}{2}$ "	10 cm
19	Tubo curvo remachado	$\frac{1}{2}$ "	30 cm
20	Válvula de bola	$\frac{1}{2}$ "	1

### 3.6.1 Perdidas por accesorios

La pérdida por accesorios se va a determinar mediante la verificación de la presión total del sistema, la cual debe ser lo más cercana a la presión de entrada teórica (45 psi), de esta manera se comprueba

que los accesorios seleccionados son los adecuados. En la Figura 79 se muestra la configuración de los accesorios y su instalación en el sistema. En la Tabla 27 se enlista los accesorios junto con el valor de la pérdida que provoca, datos obtenidos de los ANEXO 12, ANEXO 13 y ANEXO 14 del libro Mecánica de fluidos de Frank M. White.



**Figura 79** Esquema de accesorios

**Tabla 27** Pérdidas totales

Accesorio	Cantidad	Pérdida
Tee (3/4")	1	0.9 (ANEXO 12)
Válvula (3/4")	1	0.24 (ANEXO 12)
Codo 90° (3/4")	1	1.5 (ANEXO 12)
Reductor (3/4"-1/2")	1	1.2 (ANEXO 13)
Tubo curvo (1/2")	3	0.25 (ANEXO 14)
<i>K</i>		4.59

### a) Áreas

Determinamos las áreas debido a la reducción de tubería principal de 3/4 in a 1/2 in.

$$D = 3/4" = 0.0191 \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi(0.0191 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_1 = 0.000285 \text{ m}^2$$

$$D = 1/2" = 0.0127 \text{ m}$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_2 = \frac{\pi(0.0127 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_2 = \mathbf{0.000126 \text{ m}^2}$$

### b) Velocidades

Partiendo del dato del caudal que sale del tanque de cálculos anteriores (64 kg/h), obtenemos el valor de la velocidad uno del sistema al despejar la variable de velocidad de la ecuación de continuidad de la Ec. 3.88.

$$Q = 0.0000177 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = A_1 \cdot v_1 \quad (\text{Ec. 3.88})$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

$$v_1 = \frac{0.0000177 \text{ m}^3/\text{s}}{0.000285 \text{ m}^2}$$

$$v_1 = \mathbf{0.062 \text{ m/s}}$$

Ahora solo resta despejar la variable de la velocidad dos de la misma ecuación de continuidad se obtiene como resultado la nueva Ec. 3.90.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 v_2 \quad (\text{Ec. 3.89})$$

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 \quad (\text{Ec. 3.90})$$

$$v_2 = \frac{0.000285 \text{ m}^2}{0.000126 \text{ m}^2} (0.062 \text{ m/s})$$

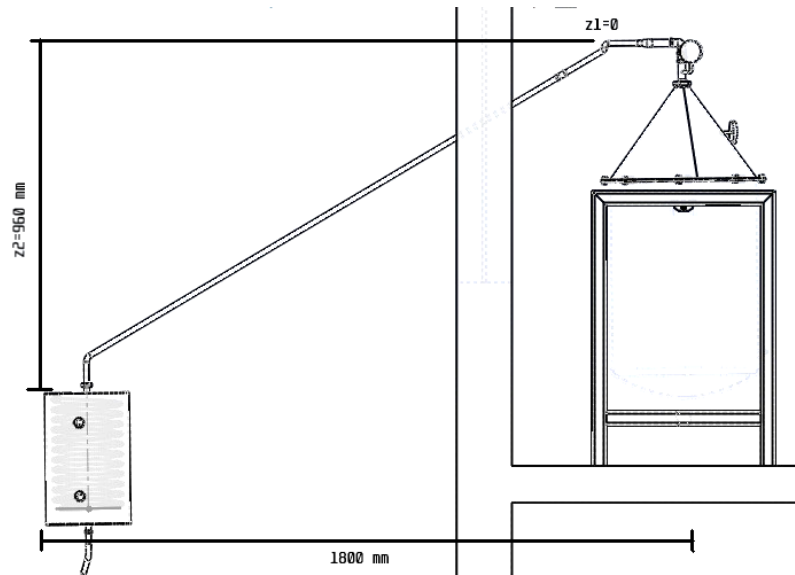
$$v_2 = \mathbf{0.14 \text{ m/s}}$$

### c) Aplicación ecuación de energía

Mediante la ecuación de la energía Ec. 1.3 podemos determinar la pérdida de presión en el sistema al calcular el valor de la presión de salida del sistema, la cual debe ser



aproximadamente igual a la presión de entrada. La Figura 80 muestra las dimensiones de la tubería y del sistema para poder obtener los valores de  $z$ .



**Figura 80 Dimensiones**

**d) Propiedades**

$$p_1 = 310264 \text{ Pa}$$

$\rho = 0.5978 \text{ kg/m}^3$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

**e) Peso específico**

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (\text{Ec. 3.91})$$

$$\gamma = (0.5978 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$\gamma = 5.86 \text{ N/m}^3$$

**f) Coeficiente de pérdida**

$\varepsilon = 0.02 \text{ mm}$  (ANEXO 15, Tabla 6-1 del libro Mecánica de fluidos de Frank M. White)

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.02 \text{ mm}}{12.7 \text{ mm}}$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = 0.00157 \text{ m}$$

### g) Viscosidad cinemática

$\mu = 1.227 * 10^{-5} kg/m.s$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Ec. 3.92})$$

$$\nu = \frac{1.227 * 10^{-5} kg/m.s}{0.5978 kg/m^3}$$

$$\nu = \mathbf{0.0000205 m^2/s}$$

### h) Reynolds

$$Re_d = \frac{Vd}{\nu} \quad (\text{Ec. 3.93})$$

$$Re_d = \frac{(0.14 m/s)(0.0127 m)}{0.0000205 m^2/s}$$

$$Re_d = \mathbf{86.62}$$

Con los valores de Reynold y  $\epsilon/d$  accedemos al diagrama de Moody (ANEXO 16) para encontrar el coeficiente de fricción.

$$f = 0.02$$

$$h_f = \frac{v^2}{2g} \frac{f L}{d} \quad (\text{Ec. 3.94})$$

$$h_f = \frac{(0.14 m/s)^2}{2(9.81 m/s^2)} \frac{(0.02)(1.5 m)}{0.0127 m}$$

$$h_f = \mathbf{0.00235 m}$$

### i) Presión de salida

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_f + h_m \quad (\text{Ec. 3.95})$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} - z_2 - h_f - h_m$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{310264 Pa}{5.86 N/m^3} + \frac{(0.062 m/s)^2}{2(9.81 m/s^2)} - \frac{(0.14 m/s)^2}{2(9.81 m/s^2)} - 0.96 m - 0.00235 m - 4.59 m$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = 52946.04 + 0.000196 - 0.00099 - 0.96 - 0.00235 - 4.59 \text{ m}$$

$$p_2 = \gamma(52940.52 \text{ m})$$

$$p_2 = (5.86 \text{ N/m}^3)(52940.52 \text{ m})$$

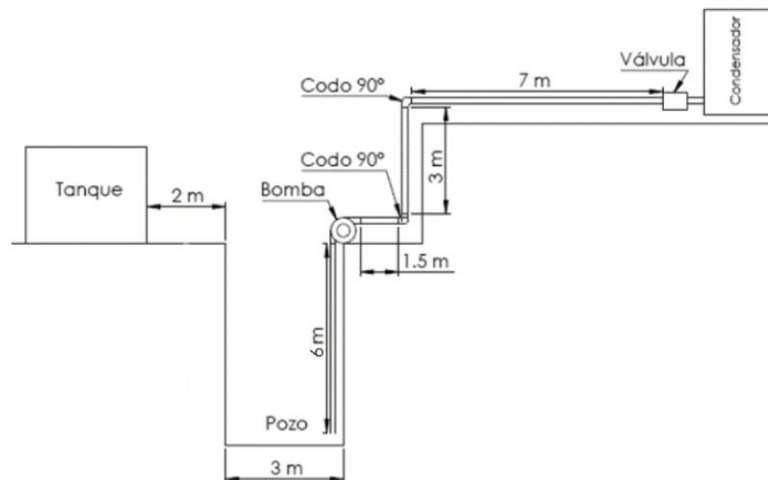
$$p_2 = 310231.45 \text{ Pa}$$

$$p_2 = 44.95 \text{ psi}$$

Por tanto, se comprueba que la pérdida de presión en el sistema con los accesorios seleccionados es de 0.05 que es un valor mínimo, lo cual asegura un correcto funcionamiento.

### 3.7 Selección de bomba

Para el sistema de enfriamiento se requiere de una bomba para la succión del agua como medio refrigerante que se encuentra en un pozo a 7 metros del condensador, a 6 metros de profundidad y como se determinó anteriormente, tendrá un caudal de 0.0035 m<sup>3</sup>/s. En la Figura 81 se puede apreciar mejor la configuración del sistema.



**Figura 81** Esquema sistema de bombeo

#### a) Velocidad

$$d = 1 \text{ in } (0.0254 \text{ m})$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.0035 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi(0.0254 \text{ m})^2}{4}}$$

$$V = 6.91 \text{ m/s}$$

**b) Coeficiente de pérdida**

$\varepsilon = 0.0015 \text{ mm}$  (ANEXO 15, Tabla 6-1 del libro Mecánica de fluidos de Frank M. White)

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.0015 \text{ mm}}{25.4 \text{ mm}}$$
$$\frac{\varepsilon}{d} = \mathbf{0.000059 \text{ mm}}$$

**c) Viscosidad cinemática**

$\mu = 1.138 * 10^{-3} \text{ kg/m.s}$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$\rho = 999.1 \text{ kg/m}^3$  (ANEXO 2, Tabla A-9 del libro Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel)

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$
$$v = \frac{1.138 * 10^{-3} \text{ kg/m.s}}{999.1 \text{ kg/m}^3}$$
$$v = \mathbf{0.00000114 \text{ m}^2/\text{s}}$$

**d) Reynolds**

$$Re_d = \frac{Vd}{v}$$
$$Re_d = \frac{(6.91 \text{ m/s})(0.0254 \text{ m})}{0.00000114 \text{ m}^2/\text{s}}$$
$$Re_d = \mathbf{153900.35}$$

Con los valores de Reynold y  $\varepsilon/d$  accedemos al diagrama de Moody (ANEXO 16) para encontrar el coeficiente de fricción.

$L = 17.5 \text{ m}$

$$f = 0.03$$

$$h_f = \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{f \cdot L}{d}$$

$$h_f = \frac{(6.91 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \cdot \frac{(0.03)(17.5 \text{ m})}{0.0254 \text{ m}}$$

$$h_f = 50.30 \text{ m}$$

**e) Pérdidas por accesorios**

**Tabla 28** Pérdidas totales

Accesorio	Cantidad	Pérdida
Válvula (1")	1	0.8 (ANEXO 12)
Codo 90° (1")	2	0.5 (ANEXO 12)
<i>K</i>		1.8

**f) Aplicación ecuación de energía**

De la ecuación de la energía se requiere despejar la variable  $h_B$  como se ve en la Ec. 3.96, que hace referencia a la carga de la bomba con la cual se podrá calcular la potencia que debe entregar una bomba para el propósito.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_f + h_m + h_B$$

$$h_B = z_2 - z_1 + h_f + h_m \quad (\text{Ec. 3.96})$$

$$h_B = (3 - 6 + 50.30 + 1.8)m$$

$$h_B = 49.06 \text{ m}$$

**g) Potencia**

$$P_B = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h_B \quad (\text{Ec. 3.97})$$

$$P_B = (999.1 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(0.0035 \text{ m}^3/\text{s})(49.06 \text{ m})$$

$$P_B = 1683.06 \text{ N} \cdot \text{m/s}$$

$$P_B = 1683.06 \text{ W}$$



$$P_B = 2.26 \text{ hp}$$


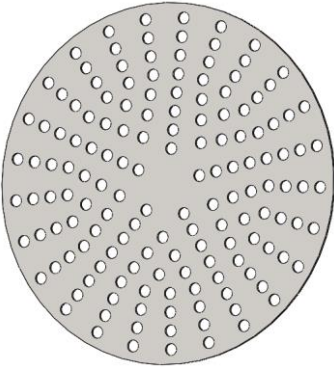
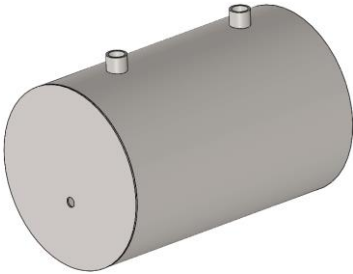
Se requiere incorporar al sistema una bomba a presión que entregue 2.26 hp de potencia para lograr extraer el agua del pozo y llevarla hacia el condensador. Consultando la disponibilidad del mercado, seleccionamos una bomba con 2.5 hp de potencia de la marca GoodYear, modelo GY 40WP. Características en el ANEXO 17.


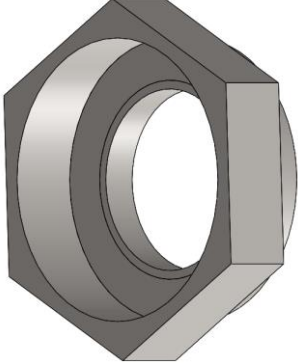
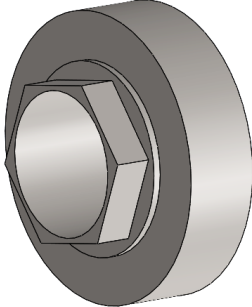
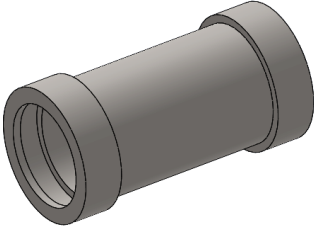
### 3.8 Modelado 3D

En la Tabla 29 se muestra a manera de resumen todos los componentes de diseño de la extractora de AE modelados en software CAD 3D con el fin de afinar todos los detalles antes de proceder con su construcción.


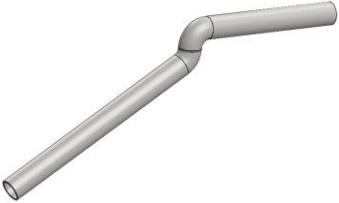

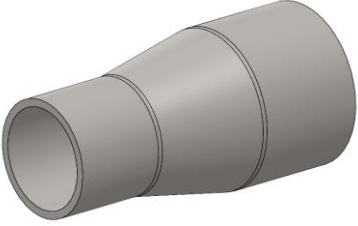
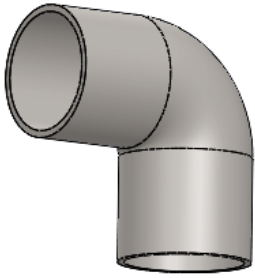
**Tabla 29** Aplicación de diseño

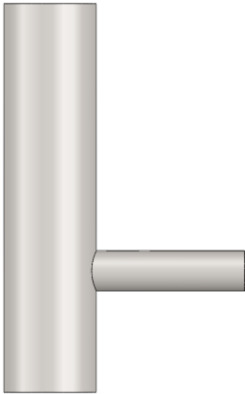
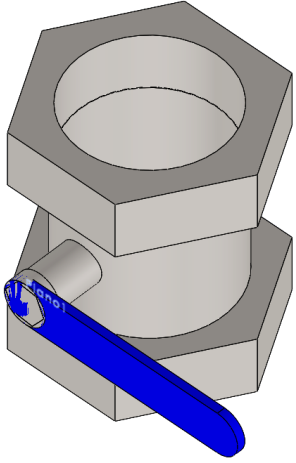
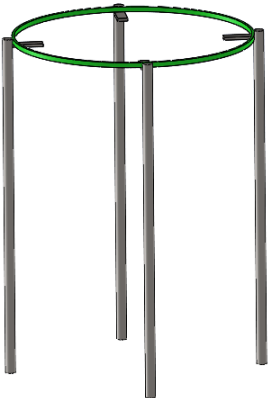
<b>EXTRACTORA DE ACIETES ESENCIALES</b>		
<b>EQUIPO CONTENEDOR</b>		
<b>Parte</b>	<b>Imagen</b>	<b>Descripción</b>
Tanque		Recipiente donde se depositará el material vegetal y el agua para el proceso de ebullición.
Tapa		Elemento que se acopla al tanque mediante pernos para contener el vapor de agua hasta lograr la disolución de las moléculas de AE.

Sello		Empaque de caucho el cual asegura la hermeticidad del conjunto.
Placa agujerada		Superficie donde se va a apoyar el material vegetal con la suficiente área para el contacto adecuado con el vapor.
<b>EQUIPO INTERCAMBIADOR</b>		
<b>Parte</b>	<b>Imagen</b>	<b>Descripción</b>
Cuerpo/carcaza		El equipo se realizarán todas las conexiones de entrada y salida de los fluidos fríos y calientes. Se encarga de la condensar el vapor hasta lograr obtener agua y AE por separado.

Serpentín		Espiral por donde circula la mezcla a manera de vapor la cual debe ser condensada. Se posiciona dentro del cuerpo/carcaza.
<b>TUBERÍA</b>		
Parte	Imagen	Descripción
Acople roscado 1 – ½”		Accesorio roscable usado para transportar el flujo de vapor desde el cilindro a presión hasta el intercambiador de calor.
Acople roscado ¾”		
Acople remachado ½”		Accesorio remachado que conecta el tubo curvo con ángulo con el tubo recto, ambos de ½”.

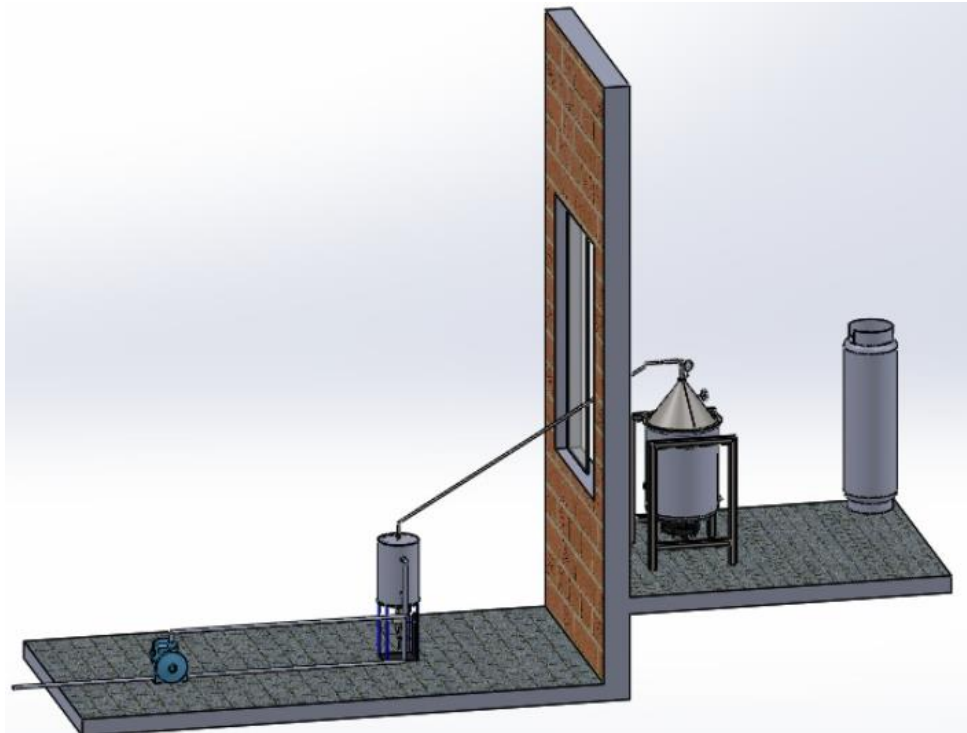


<p>Tubo curvo remachado de ½”</p>		<p>Accesorio curvo usado para transportar el flujo de vapor desde el cilindro a presión hasta el intercambiador de calor.</p>
<p>Tubo curvo con ángulo de ½”</p>		
<p>Tubo recto de ½”</p>		
<p>Reductor ¾”- ½”</p>		<p>Accesorio de reducción de sección usado para transportar el flujo de vapor desde el cilindro a presión hasta el intercambiador de calor.</p>
<p>Codo de ¾” a 90°</p>		<p>Accesorio usado para redireccionar el flujo de vapor desde el cilindro a presión hasta el intercambiador de calor.</p>

Tee		<p>Accesorio que comparte flujo con el manómetro y detectar el valor de presión que se está generando</p>
Válvulas de bola de 3/4"		<p>Dispositivo que retiene el paso del fluido hasta llegar a la presión establecida.</p>
<b>ESTRUCTURAS METÁLICAS</b>		
Soporte intercambiador		<p>Estructura metálica donde se va a apoyar el intercambiador de calor conectado a la red de tubería y al tanque contenedor.</p>

### 3.9 Boceto

Luego de dimensionar todos los elementos necesarios para el funcionamiento de la extractora de AE, en la Figura 82 se muestra un boceto de cómo será la configuración de cada uno de los elementos en su lugar de trabajo, la empresa SaveWater.



**Figura 82** Boceto extratora de AE

### 3.10 Construcción

Se realiza la construcción de las partes que componen la maquina extractora de AE tal como se han modelado cada componente en software CAD que se detalla en la Tabla 29, así también obedeciendo al diagrama de procesos expuesto en la Figura 45 y siguiendo la documentación de planos correspondiente en la sección de ANEXOS.

#### 3.9.1 Equipo contenedor

**Tabla 30** Equipo necesario para contenedor

<b>EQUIPOS NECESARIOS</b>	
<b>Maquinas-herramientas</b>	<b>Instrumentos de medición</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortadora láser</li> <li>• Taladro</li> <li>• Varoladora para lámina</li> <li>• Soldadora TIG</li> <li>• Taladro de pedestal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexómetro</li> <li>• Calibrador pie de rey</li> </ul>

#### a) Tanque




En la Tabla 31 se muestra los pasos del proceso de construcción del tanque según las especificaciones calculadas.

**Tabla 31** Construcción de tanque

<b>PASOS</b>	
Corte láser de los elementos en la plancha de acero inoxidable AISI 304.	 A photograph showing several laser-cut metal components on a light-colored surface. The components include two circular pieces, a rectangular piece, and a larger, more complex piece with a curved edge.
Inspección parte interna del tanque.	 A photograph showing the interior of a cylindrical tank. The view is from the top, looking down into the tank. The inner surface is metallic and shows some signs of wear and discoloration. A central circular opening is visible at the bottom.
Tanque listo para su acople con la estructura metálica.	 A photograph of a completed, vertical cylindrical tank. The tank is made of polished metal and stands on a concrete floor in a workshop or industrial setting. The background shows some equipment and structural elements.




**b) Tapa**

**Tabla 32** Construcción de tapa

<b>PASOS</b>	
<p>Corte láser de los elementos en la plancha de acero inoxidable AISI 304.</p>	 A photograph showing several laser-cut metal parts on a light-colored surface. The parts include a semi-circular piece, a rectangular piece, and several circular pieces of varying diameters.
<p>Proceso de varolado para el conformado de la tapa cónica.</p>	 A photograph showing the rolling process of a metal sheet. A large, flat metal sheet is being rolled around a cylindrical mandrel. The sheet is held in place by a metal clamp. The background shows industrial equipment and other metal parts.
<p>Soldadura de unión y brida terminadas.</p>	 A photograph showing the completed conical cap. The cap is made of polished metal and has a central opening. The edges are finished with a flange. The cap is shown from an overhead perspective, highlighting its conical shape and the central hole.

**c) Tapa agujerada**

**Tabla 33** Construcción de tapa agujerada

<b>PASOS</b>	
<p>Corte láser de los elementos en la plancha de acero inoxidable AISI 304.</p>	 A photograph showing several laser-cut metal parts on a light-colored surface. The parts include a semi-circle, a vertical rectangular strip, and several circular discs of varying sizes.
<p>Plancha circular de 387 mm de diámetro de acero inoxidable.</p>	 A photograph of a single, solid circular metal plate with a smooth, reflective surface, resting on a dark, textured surface.
<p>Perforación de la plancha, creando la matriz señalada en los planos con un diámetro de 1/2" y 150 agujeros. Placa agujerada terminada y lista para su uso.</p>	 A photograph of the circular metal plate from the previous step, now perforated with a grid of small, evenly spaced circular holes. The plate is shown from a top-down perspective.



### 3.9.2 Equipo condensador




**Tabla 34** Equipo necesario para condensador

<b>EQUIPOS NECESARIOS</b>	
<b>Maquinas-herramientas</b>	<b>Instrumentos de medición</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Amoladora</li><li>• Taladro</li><li>• Lima</li><li>• Varoladora para tubo</li><li>• Soldadora TIG</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Flexómetro</li><li>• Calibrador pie de rey</li></ul>

#### a) Cuerpo/carcaza

**Tabla 35** Construcción de coraza

<b>PASOS</b>	
<p>Corte láser de los elementos en la plancha de acero inoxidable AISI 304.</p>	 Una fotografía que muestra un proceso de corte láser en una plancha de metal. Se ven varias piezas ya cortadas, incluyendo un círculo, un rectángulo y una pieza con una forma más compleja, sobre una superficie de trabajo.
<p>Plancha rectangular doblada para darle la forma cilíndrica y prepararla para la soldadura.</p>	 Una fotografía que muestra una plancha rectangular de metal que ha sido doblada para darle la forma cilíndrica. La pieza está apoyada sobre una superficie plana y muestra una línea de doblado que define su forma tubular.

<p>Soldadura para unir los extremos, dando la forma circular y soldadura de las tapas.</p>	
<p>Instalación de tubo roscado de ½” tanto para la salida y entrada del fluido caliente.</p>	
<p>Carcaza lista para su acople con la tubería de conexión con el tanque contenedor.</p>	



**b) Serpentín**

**Tabla 36** Construcción de serpentín

<b>PASOS</b>	
Proceso de varolado del serpentín.	
Eliminación de rebaba en los extremos de corte con ayuda de una lima.	
Serpentín terminado y listo para su ensamble.	


### 3.9.3 Tubería/accesorios




**Tabla 37** Equipo necesario armado de tuberías

<b>EQUIPOS NECESARIOS</b>	
<b>Maquinas-herramientas</b>	<b>Instrumentos de medición</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amoladora</li> <li>• Remachadora</li> <li>• Sierra</li> <li>• Lima</li> <li>• Llave pico de loro</li> <li>• Llave para tuercas</li> <li>• Prensa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexómetro</li> <li>• Calibrador pie de rey</li> </ul>
	<p><b>Otros</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teflón</li> </ul>

Se muestran los diferentes procesos de corte y remachado de tubería de conexión en la Tabla 38.

**Tabla 38** Ensamblaje de tubería/accesorios

<b>PASOS</b>	
<p>Instalación acople roscado de 1- 1/2" a la tapa cónica.</p>	
<p>Ensamble de válvula de bola a la tubería tipo tee y al codo de 90°.</p>	

	
<p>Remachado reductor <math>\frac{3}{4}</math>"- <math>\frac{1}{2}</math>"</p>	
<p>Acople y ajuste del codo de <math>90^\circ</math> con el tubo recto y el tubo curvo que conecta con el intercambiador.</p>	

Instalación del termómetro en la tapa cónica para la lectura del valor de la temperatura del proceso.



Instalación de manómetro en la tubería tipo tee.



Acoplamiento de accesorio para la entrada del líquido refrigerante al condensador.



### 3.9.4 Estructuras metálicas

**Tabla 39** Equipo necesario para estructura

<b>EQUIPOS NECESARIOS</b>	
<b>Maquinas-herramientas</b>	<b>Instrumentos de medición</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amoladora</li> <li>• Taladro</li> <li>• Soldadora MIG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexómetro</li> <li>• Calibrador pie de rey</li> </ul>

#### a) Soporte intercambiable



**Tabla 40** Construcción de soporte




<b>PASOS</b>	
<p>Proceso de soldadura del soporte para el intercambiador con soldadura SMAW y electros 6011.</p>	
<p>Soporte con capa de pintura para evitar corrosión y listo para armado con el equipo condensador.</p>	

### 3.9.5 Ensamble total

En la Tabla 41 se muestra el montaje de todas las piezas construidas en los puntos anteriores, dando como resultado la máquina completamente armada y ubicada en el lugar de operación en la empresa.

**Tabla 41** Ensamble final

<b>PASOS</b>	
<p>Colocación y ajuste de ejes para soporte del tanque con la estructura.</p>	
<p>Ensamblaje parcial de la máquina. Se tiene armado por completo la parte del tanque extractor. El tanque se encuentra ajustado su estructura de soporte, junto con sus respectiva tapa y termómetro.</p>	

<p>Colocación del equipo condensador en su respectivo soporte y lugar para su instalación con la tubería proveniente del tanque extractor.</p>	
<p>Ajuste y aseguramiento de la entrada del fluido caliente al condensador.</p>	
<p>Unión de tubería proveniente del tanque extractor con la entrada del fluido caliente del condensador.</p>	

Acoplamiento de la tubería proveniente de la bomba y de tubería para la salida del refrigerante.




Instalación de embudo separador a la salida del equipo condensador.



Instalación de tubería salida de agua para enfriamiento, hacia el condensador.





<p>Instalación de la tubería de 10 metros para succión hacia el fondo del pozo.</p>	
<p><b>Nota:</b> en todas las conexiones en donde hubo roscado de tuberías se aplicaron las capas necesarias de cinta teflon para asegurar su hermeticidad.</p>	

### 3.10 Prueba hidrostática

La prueba hidrostática que verifica la hermeticidad del recipiente a presión está basada en la sección UG-99 del código ASME sección VIII, División 1. Aplica en los sistemas de tubería, contenedores con carga de presión interna de la máquina con el fin de poder detectar posibles fugas ya sea en las conexiones de tuberías o en los cordones de soldadura que son donde comúnmente aparecen dichas fallas.

#### 3.10.1 Procedimiento

Este apartado indica que se deben bloquear todos los orificios de los accesorios conectados a la caldera como tuberías de transporte y válvulas, llenar con agua el recipiente e introducir presión. La presión de prueba será de 1.5 la presión máxima de diseño.

$$P_{PH} = 1.5Pd \quad (\text{Ec. 3.98})$$

$$P_{PH} = 1.5(45 \text{ psi})$$

$$P_{PH} = 67.5 \text{ psi}$$

Se obtiene que para la prueba hidrostática se deben aplicar 67.5 psi a toda la máquina y comprobar que no exista ninguna fuga de presión.

Finalmente se dejará el recipiente durante 48 horas seguidas a 67.5 psi y se observará las pérdidas de presión. La prueba tendrá resultados positivos si las pérdidas de presión no superan el 3% de la presión original de prueba. En el caso de tener pérdidas superiores al 3% se procederá a una inspección de soldadura y de conexiones de accesorios para determinar las posibles fugas.

$$P_{PHf} = 3\% (P_{PH}) \quad (\text{Ec. 3.99})$$

$$P_{PHf} = 3\% (67.5 \text{ psi})$$

$$P_{PHf} = 65.48 \text{ psi}$$

**Tabla 42** Equipo necesario para PH

<b>EQUIPOS NECESARIOS</b>	
<b>Maquinas-herramientas</b>	<b>Instrumentos de medición</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compresor Campbell Hausfeld de 300 psi.</li> <li>• Tubería</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manómetro</li> </ul>
	<p><b>Otros</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teflón</li> </ul>

**Tabla 43** Pasos PH

<b>PASOS</b>	
<p>Preparamos el equipo compresor el cual va a entregar la presión necesaria para la prueba.</p>	

Llenado del recipiente sometido a presión con agua tal como lo establece el código ASME, sección UG-99.



Conexión de la tubería proveniente del compresor hacia el tanque contenedor.



Observamos el marcador de presión al iniciar la prueba hidrostática con los 67.5 psi calculados. Siendo la 1:45 pm empieza a contar el tiempo de prueba.



Transcurridas las 48 horas de prueba, observamos la presión final que marca el manómetro con 66 psi.

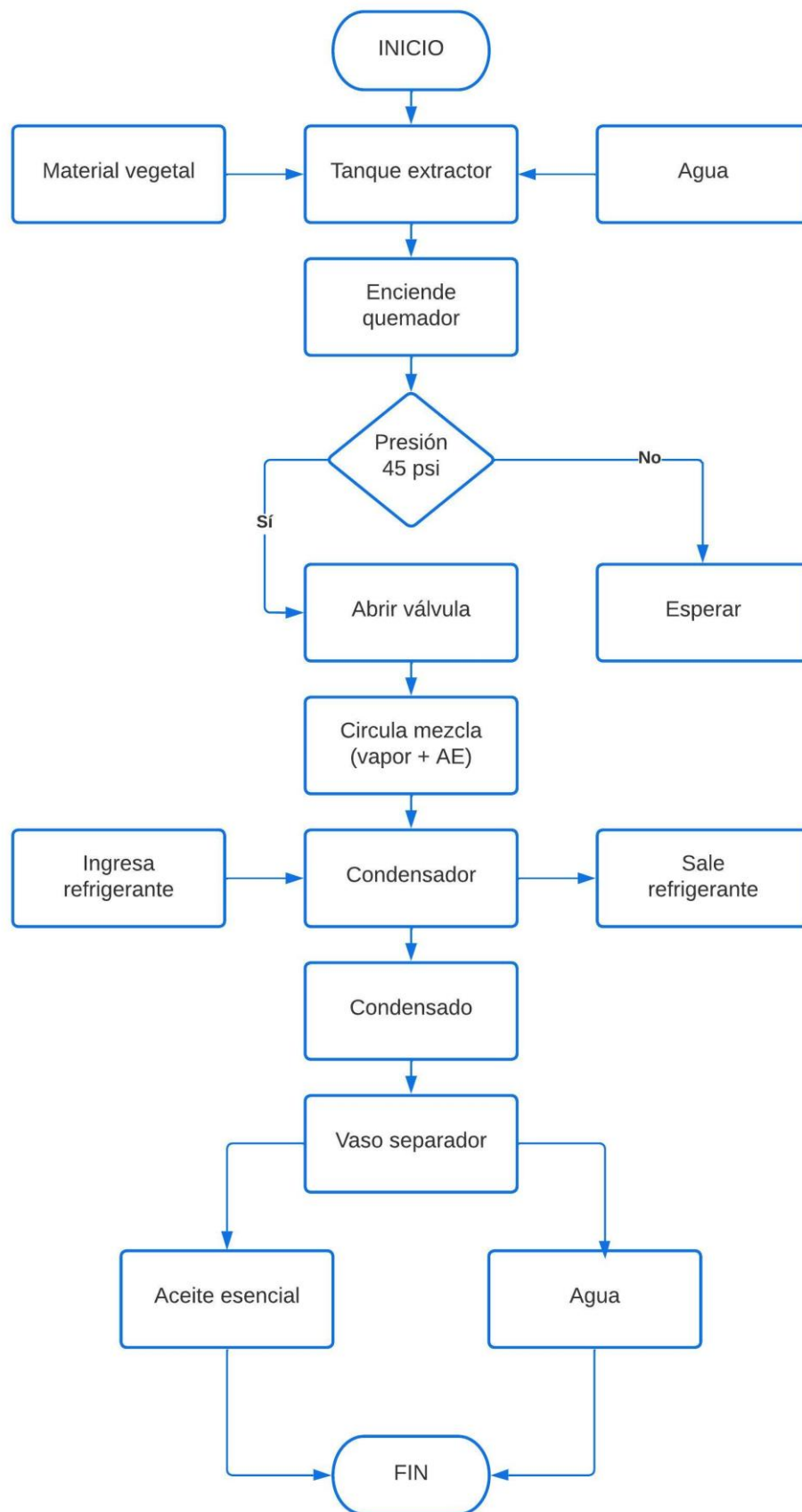


**Nota:** en todas las conexión en donde hubo roscado de tuberías se aplicaron las capas necesarias de cinta teflon para asegurar su hermeticidad.

**Resultados:** Una vez finalizada la prueba hidrostática se obtienen que la presión final marcada es de 66 psi que comparados con el 3% de caída de presión admitido por el código, puede afirmarse que el resultado de la prueba hidrostática es exitoso al superar los 65.48 psi establecidos.

### 3.11 Puesta en marcha




Una vez aprobada las pruebas hidrostáticas se puede iniciar el primer proceso de extracción de AE. En la Figura 83 se observa el diagrama del proceso de extracción de inicio a fin. Para más información del funcionamiento se puede consultar el Manual de funcionamiento en el ANEXO 19.









**Figura 83** Diagrama proceso de extracción

En la Tabla 44 se describe el proceso de extracción paso a paso con eucalipto de material vegetal base.



**Tabla 44** Proceso de extracción

<b>PROCESO DE EXTRACCION</b>		
<b>Material vegetal</b>		Eucalipto ( <i>Eucalyptus globulus labill</i> )
<b>Proceso</b>	<b>Descripción</b>	<b>Imagen</b>
Preparación	Pesado de material vegetal (hojas de eucalipto) hasta el valor establecido de 4 kg. Se obtuvo 0.05 kg extras que no afectan el proceso.	
	Vertido de agua (12 litros) para lograr el proceso de arrastre mediante la generación de vapor.	
	Colocación de tapa agujerada en el interior del tanque en la cual se van a depositar el material vegetal) hojas de eucalipto).	

	<p>Introducimos el material vegetal (hojas de eucalipto) en el interior del tanque.</p>	
	<p>Cerrado del tanque con la tapa cónica para su posterior ajuste de pernos.</p>	
	<p>Aseguramos los pernos de sujeción con ayuda de un torquímetro con el valor de torque establecido en el punto 3.3.5, literal d.</p>	
<p>En marcha</p>	<p>Inicio del calentamiento del tanque extractor con el material vegetal y</p>	

	<p>agua dentro, tras la activación del quemador. Verificar que la válvula principal este completamente cerrada.</p>	
	<p>Observamos que el manómetro marca la presión establecida para el proceso, punto en el cual se procede a la apertura de la válvula principal.</p>	
<p>Desmontaje</p>	<p>Desajuste de los pernos de sujeción una vez cumplido el proceso de condensación.</p>	
	<p>Luego de 90 minutos de proceso se observa que en el vaso separar el</p>	





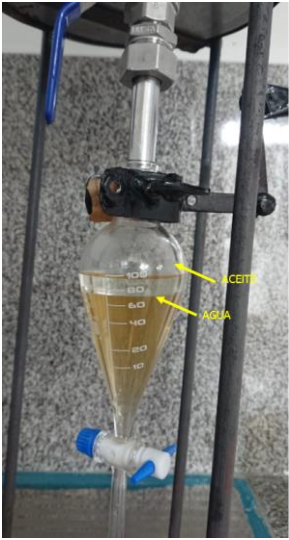


	<p>nivel de líquido no sube más. Significa que el proceso ha finalizado y se procede a cerrar todas las válvulas.</p>	
	<p>Para el desmontaje se inicia con la abertura de la tapa cónica para tener acceso al material vegetal residual y al agua aromatizada.</p>	
	<p>Eliminación de agua aromatizada residual contenida en el fondo del tanque siguiendo los pasos mostrados en la Figura 65.</p>	




### 3.12 Resultados

Con la maquina diseñada y construida lo que se busca es generar aceite esencial de una planta mediante la extracción, por tanto, los resultados primordiales son observar claramente el producto final. En la Tabla 45 se puede ver claramente como el aceite esencial se va almacenando en el vaso separador con el paso del tiempo.

**Tabla 45 Resultados**

<b>RESULTADOS</b>		
<b>Material vegetal</b>		Eucalipto ( <i>Eucalyptus globulus labill</i> )
<b>Proceso</b>	<b>Descripción</b>	<b>Imagen</b>
Comparación	Una muestra de hojas de eucalipto frescas antes del proceso de extracción. Se observa un color verde oscuro y que desprende su olor característico.	
	Claramente las hojas de eucalipto han perdido sus propiedades debido al proceso de extracción. Su coloración ha cambiado a marrón y ya no se lograr percibir su olor característico.	

<p>Emulsión</p>	<p>Finalizado el proceso de condensación se observa la emulsión completa del 100 % de capacidad del embudo con las sustancias diferentes separadas por su propiedad de inmiscibilidad. Así también por su diferencia de densidades se observa que el agua reposa en el fondo del embudo, mientras que el aceite se mantiene en la superficie.</p>	
<p>Separación</p>	<p>Se procede a liberar el agua condensada que por ser mayor densa ocupa el fondo del embudo separador.</p>	
	<p>Ahora liberamos todo el contenido del embudo separador el cual es solo aceite esencial.</p>	

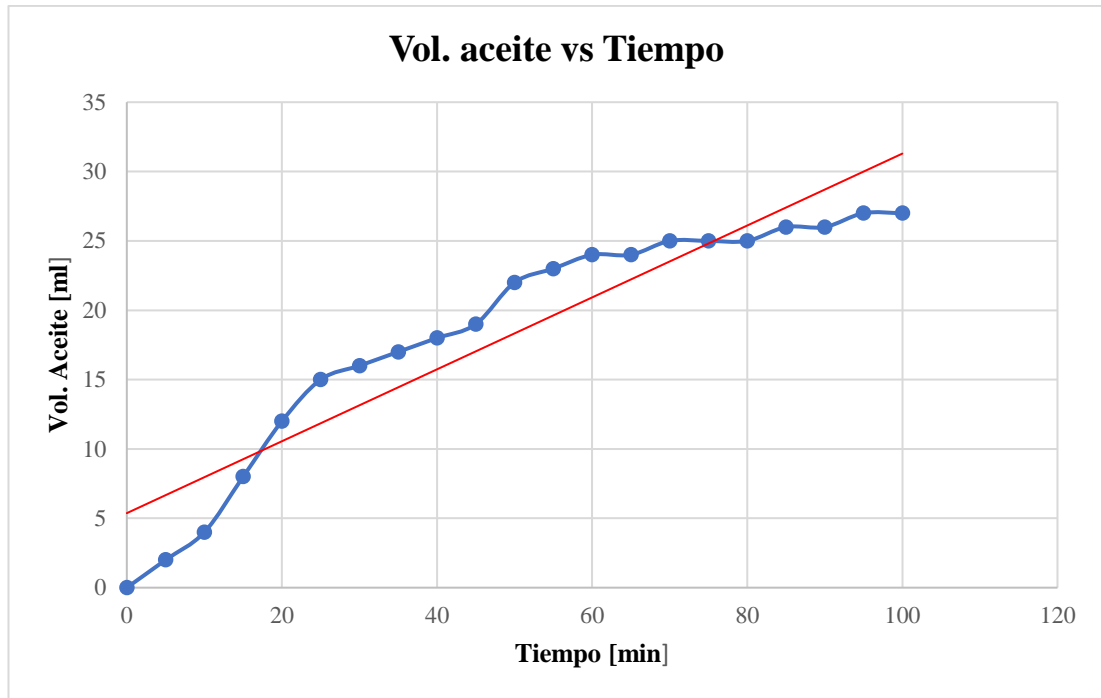
	<p>Se vierte el contenido de aceite extraído en el vaso de precipitación en el cual señala el volumen final de aceite.</p>	
<p>Recolección</p>	<p>Para una mayor precisión de la medición del volumen de aceite extraído se recurre a una probeta, en la cual se puede apreciar claramente que el volumen de aceite es de 27 ml.</p>	
	<p>Recolección de muestra en recipiente de 4 ml para su envío al laboratorio para su correspondiente análisis de propiedades.</p>	

### 3.12.1 Registro de datos

En la Tabla 46 se detallan el proceso de extracción de mejor manera mediante un registro de datos por tiempos a partir de la abertura de la válvula principal.

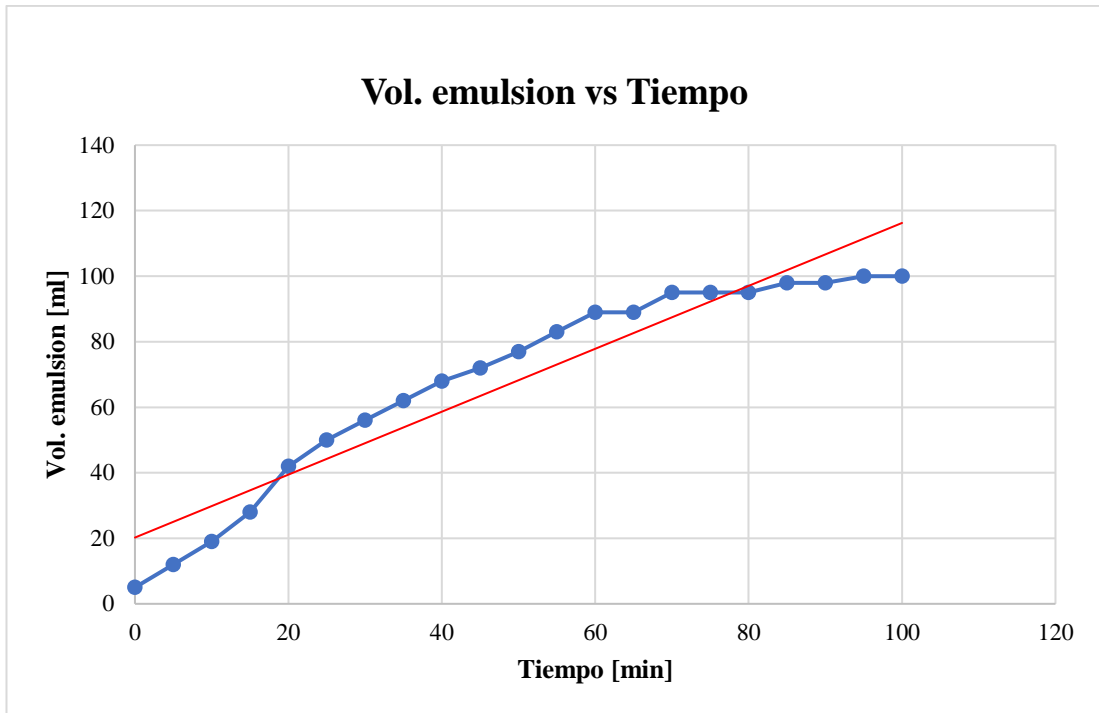
**Tabla 46** Registro de datos

<b>REGISTRO DE DATOS</b>			
<b>Material vegetal</b>		Eucalipto ( <i>Eucalyptus globulus</i> labill)	
<b>Vol. de aceite [ml]</b>	<b>Vol. de agua [ml]</b>	<b>Vol. de emulsión [ml]</b>	<b>Tiempo [min]</b>
0	5	5	0
2	10	12	5
4	15	19	10
8	20	28	15
12	30	42	20
15	35	50	25
16	40	56	30
17	45	62	35
18	50	68	40
19	53	72	45
22	55	77	50
23	60	83	55
24	65	89	60
24	65	89	65
25	70	95	70
25	70	95	75
25	70	95	80
26	72	98	85
26	72	98	90
27	73	100	95
27	73	100	100



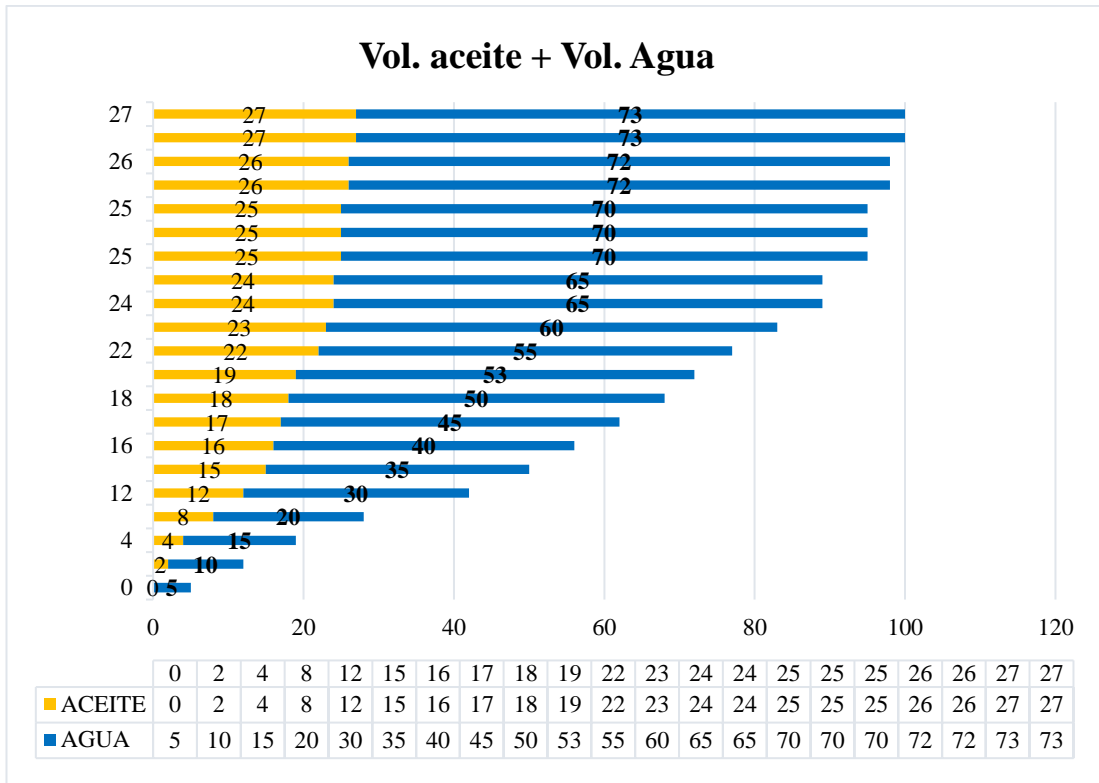
**Figura 84** Vol. aceite vs tiempo

Para una interpretación de lo que está ocurriendo en el proceso se tiene la Figura 84 cual muestra la evolución de la extracción del aceite que es el fluido de interés, en el tiempo. La gráfica muestra como el aceite va incrementando su volumen rápidamente hasta los 30 minutos del proceso, baja su volumen de 30 a 45 minutos hasta que se estabiliza con incrementos pequeños en los próximos 50 minutos restantes hasta finalizar. La línea de tendencia (línea roja) indica claramente que el volumen del AE incrementa en el tiempo.



**Figura 85** Vol. emulsión vs tiempo

En la Figura 85 se muestra el volumen de emulsión presente en el proceso con respecto al tiempo. Se aprecia que la emulsión del proceso va incrementando en el tiempo hasta completar el 100 del volumen total. La línea de tendencia (línea roja) claramente muestra que su tendencia a incrementar.



**Figura 86.** Vol. aceite + Vol. Agua

En la Figura 86 se indica el diagrama de barras apiladas para distinguir como es la emulsión de agua y aceite hasta lograr completar el 100 % de volumen del embudo contenedor el cual corresponde a los 100 ml de capacidad.

### 3.12.2 Eficiencia del proceso

Con los ml de aceite extraídos procedemos a calcular la eficiencia del proceso para determinar si la maquina construida está trabajando correctamente. Como nos habíamos planteado al inicio, nuestra máquina debe reportar con el 80% de eficiencia o más para ser aprobada.

$$\eta = \frac{v_1 (\text{obtenido})}{v_2 (\text{planteado})} * 100\% \quad (\text{Ec. 3.100})$$

Donde,

$v_1$ : Volumen de AE obtenido al finalizar el proceso de extracción.

$v_2$ : Volumen de AE establecido como referencia para el proceso.



$$\eta = \frac{27 \text{ ml}}{30 \text{ ml}} * 100\%$$

$$\eta = 90 \%$$

Basado en el cálculo de la eficiencia por volúmenes, la maquina construida reporta una eficiencia de extracción del 90%; valor que es superior al 80% establecido inicialmente. Por tanto, la maquina construida cumple con el propósito para el cual fue construida.

### **3.12.3 Análisis de calidad**

Para las pruebas de calidad se recurre a un análisis de la muestra del aceite extraído mediante la maquina construida, la cual es enviada al laboratorio de la empresa SaveWater. El análisis realizado fue de tipo cromatológico de rotación óptica que consiste en la determinación de la cantidad de citronelal presente en el aceite esencial, entre otras propiedades. Mientras más cantidad de este isómero presente, mejor calidad posee el aceite. La prueba se apoya en las normas ISO, NTP y NMX, pruebas de propiedades en aceites esenciales.

#### **a) Pureza óptica (+) -citronelal**

La norma ISO 592 establece el procedimiento para determinación de la calidad de un aceite esencial mediante la cantidad del isómero citronelal presente. Los valores en porcentaje del isómero deben estar en el rango  $51.80\% \pm 1.26$  para ser considerados aceptados [33].

#### **b) Rotación óptica**

Para este análisis la muestra de aceite se ve disuelta en metanol puro mediante el cual se debe mostrar el ángulo de rotación hacia el plano de polarización al tener 100 mm de espesor de sustancia la cual se compone de 1 gramo de sustancia pura por cada mililitro. Toma como referencia de norma NTP 319.076 [33].

#### **c) Densidad**

El valor de la densidad fue obtenido según lo establecido en la norma NTP 319.081. El proceso se lo realizó por el método psicométrico y con agua destilada a temperatura ambiente [33].

#### d) **Inde de refracción**

Obtenido a partir del uso del equipo refractario disponible en el laboratorio de SaveWater, el cual consiste en combinar la muestra con un agente desecador y relacionarlo con el aire a temperatura ambiente. Proceso basado en la norma NTP 319.075 [33].

#### e) **Soluble en etanol**

A la muestra en cuestión se le agrega 1ml de etanol de 80°, posteriormente se agita la mezcla hasta su incorporación total. Dicho proceso se basa en la norma NMX-K-081 [33].

**Interpretación del resultado:** El informe impartido del laboratorio de SaveWater indica que la muestra enviada para el análisis presenta lo siguiente:

**Tabla 47** Propiedades de nuestro AE

<b>Análisis solicitado</b>	<b>Método / Norma referencia</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>	<b>Incertidumbre</b>
Concentración citronelal	ISO 592	% P/P	95.13	±1.20
Rotación óptica específica	NTP 319.076	°	0.45	±0.25
Pureza óptica (+)- citronelal	ISO 592	%	51.47	±1.26
Índice de refracción	NTP 319.075	-	1.422	±0.02
Densidad	NTP 319.081	gr/ml	0.911	±0.12
Soluble en etanol	NMX-K-081	°	80 y 90	-

En la Tabla 47 se lee un fragmento del reporte con los valores de las características presentes en la muestra junto su respectivo método aplicado. Sin embargo, la importancia recae sobre el valor de la Pureza óptica (+) -citronelal el cual es de 51.47 %. Por tanto, se puede afirmar que nuestro aceite aprueba con los estándares de calidad establecidos al mantenerse dentro del rango normado entre 50.21 y 52.73 %. El informe completo del análisis se puede ver en el ANEXO 18.

#### **3.12.4 Nuestro aceite**

Basándonos en las pruebas de laboratorio y en cálculos realizados, en la Tabla 48 mostramos los datos técnicos del aceite esencial extraído desde nuestra máquina construida.

**Tabla 48** Características del aceite

<b>CARACTERISITICAS ACEITE ESENCIAL</b>					
<b>Material vegetal</b>		Eucalipto ( <i>Eucalyptus globulus labill</i> )			
<b>Concentración de citronelal</b>	<b>Rotación óptica específica</b>	<b>Pureza óptica</b>	<b>Densidad</b>	<b>Índice de refracción</b>	<b>Impurezas en baja concentración</b>
95.13 %P/P	0.45°	51.47 %	0.911 gr/ml	1.422	isopulegol (1.56 %)
					citronelol (3.45 %)
					geraniol (1.98 %)
<b>Solubilidad en etanol</b>		Sí		80 y 90°	
<b>Componentes principales</b>					
<b>No.</b>	<b>Cantidad (%)</b>		<b>Sustancia</b>		
1	0.22		1.8-cineol		
2	90.16		citronelal		
3	0.33		neoisopulegol		
4	0.66		beta elemeno		
5	0.23		cariofileno		

### 3.13 Costos

En este apartado final se detalla y analiza todos los costos involucrados desde el inicio del proyecto hasta su finalización. Se detallan costos significativos como materiales de construcción, costo por uso de máquinas-herramientas, mano de obra e insumos.

### 3.13.1 Materiales y accesorios

**Tabla 49** Costo materiales y accesorios

No.	Detalle	Dimensiones	Costo por unidad [\$]	Cantidad	Costo total [\$]
1	HIDRINOX VALVULA PASO 2 CUERPOS	3/4 in	19,64	1	19,64
2	CODO CACHIMBA AC/INOX	3/4 in	2,01	1	2,01
3	HIDRINOX UNION DOBLE	3/4 in	9,82	1	9,82
4	REDUCCION	3/4 - 1/2 in	2,23	1	2,23
5	NEPLO AC/INOX C40	3/4 - 2 in	1,34	1	1,34
6	HIDRINOX CUELLO DE GANZO	1/2 in	3,57	1	3,57
7	PERNO INOX C. HEXAGONAL	5/16X1 1/2 in	0,27	8	2,16
8	TUERCA ACERO INOX	5/16 in	0,13	8	1,04
9	ARANDELA INOX	5/16 in	0,05	8	0,40
10	HIDRINOX TUBO HEMBRA NORM	3/4 in	4,91	1	4,91
11	HIDRINOX TUBO MACHO NORM	1/2 in	4,02	1	4,02
12	NEPLO AC/INOX C40	1/2 -2 in	0,89	1	0,89
13	HIDRINOX VALVULA PASO 2 CUERPOS	1/2 in	14,29	1	14,29
14	HIDRINOX UNION DOBLE	1/2 in	6,70	1	6,70
15	CODO CACHIMBA AC/INOX	1/2 in	1,43	1	1,43
16	HIDRINOX CODO CURVA NORM ROSCA MACHO	1/2 in	4,46	1	4,46
17	BUSHING AC/INOX 304	1 - 3/4 in	2,05	1	2,05
18	NEPLO AC/INOX C40 HEXA C304	1 in	2,68	1	2,68
19	NUDO AC/INOX ROSC C40 304	1 in	6,16	1	6,16
20	NEPLO AC/INOX C40	3/4 - 3 in	1,88	1	1,88
21	PLANCHA A304 de 2 mm	1220x2440 mm	120,00	1	120,00
22	PLATINA ACERO ESTRUCTURAL	30x2 mm x 2 m	5,60	1	5,60
23	VARILLA ACERO ESTRUCTURAL	10 mm x 2 m	5,20	1	5,20
24	TUBO CUADRADO	1 1/2X1,5	17,41	3	52,23
25	DISCO DE CORTE INGCO	14 in	4,02	1	4,02
26	TUBO CUADRADO	(3/4X1,2) (20X20X1,2)	8,21	4	32,84
27	ELECTRODO METAL 6011 FACILITO FUN	1/8 in	16,25	1	16,25
28	HIDRINOX TUBO FUJINOX-HIDRO INOX	3/4 in x 6 m	24,11	2	48,22
29	HIDRINOX UNION DOBLE	1/2 in	6,70	2	13,40
30	HIDRINOX TEE	3/4 in	4,91	1	4,91

31	HIDRINOX TUNO HEMBRA NORM	1/2 in	4,02	1	4,02
32	SELLO ASBESTO CIRCULAR	83 cm	25,00	1	25,00
33	HIDRINOX TUNO FUJINOX-HIDRO INOX	1/2 in x 6 m	12,50	1	12,50
34	HIDRINOX VALVULA BOLA	1/2 in	14,60	1	14,60
35	TEFLON IM T/G	1/2 in x 10 m	0,60	3	1,80
36	QUEMADOR WAYLER R-63 CON ADAPT	180 mm	70,00	1	70,00
37	TERMOMETRO	60 mm	22,00	1	22,00
38	MANOMETRO GENEBRE GLICERINA 0-90 PSI	63 mm 1/4 in	20,30	1	20,30
39	SEÑALETICA DE SEGURIDAD ACRILIC	20 x 30 cm	4,50	11	49,50
40	BOMBA DE SUCCION	2,5 hp	210,50	1	210,50
41	EMBUDO SEPARACION/DECANTACION	100 ml	50,00	1	50,00
42	PROBETA DE MEDICION PLASTICA	100 ml	18,60	1	18,60
43	RECIPIENTES MUESTRAS VIDRIO	4 ml	1,10	2	2,20
44	BEAKER VIDRIO	100 ml	25,00	1	25,00
<b>TOTAL</b>					<b>920,37</b>

### 3.13.2 Equipos y recursos

**Tabla 50** Costo equipos y recursos

No.	Detalle	Tiempo de uso [h]	Costo/hora [\$]	Costo total [\$]
1	Soldadura MIG	5	14,50	72,50
2	Soldadura TIG	6	18,60	111,60
3	Varoladora	1	10,00	10,00
4	Corte láser	6	30,00	180,00
5	Taladro de mesa	3	10,00	30,00
6	Amoladora	1	5,00	5,00
7	Esmeril	1	5,00	5,00
8	Compresor	48	0,75	36,00
9	Maestro de taller	10	5,00	50,00
11	Diseño	10	7,00	70,00
<b>TOTAL</b>				<b>570,10</b>

### 3.13.3 Costo total

**Tabla 51** Costo total

No.	Detalle	Valor
1	Materiales y accesorios	920,37
2	Equipos y recursos	570,10
3	Materia prima	5,00
4	Transporte	65,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 1560,47</b>

Al final se determina que el costo total para la construcción de la maquina extractora de aceite esencial de eucalipto es de \$1560.47 (mil quinientos sesenta dólares estadounidenses con cuarenta y siete centavos) del cual la empresa SaveWater aporta con el 30%, siendo \$468.14 (cuatrocientos sesenta y ocho dólares estadounidenses con catorce centavos) mientras que el valor restante de \$1092.33 (mil noventa y dos dólares estadounidenses con treinta y tres centavos) corre por cuenta de los autores del proyecto tal como se acordó al inicio.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Basado en la documentación bibliográfica, las formas de extracción de los aceites esenciales encontradas fueron la extracción por hidroddestilación, maceración, solventes, arrastre de vapor y prensado los mismos que para la construcción están fundamentados en códigos y normativas.
- Considerando el método de criterios ponderados aplicado a los cinco métodos investigados, se determina que el método más adecuado para la ejecución del proyecto es el denominado extracción por arrastre de vapor en vista que presenta características favorables en cuanto a tecnología, el costo se acopla al presupuesto establecido, fabricación poco compleja y rápida, buenas capacidades de trabajo, compacto y de poco mantenimiento.
- El diseño del sistema de extracción está basado en el diagrama de procesos de la Figura 44 que establece un orden específico para cada fase del diseño y permitiendo enlazar cálculos, modelado CAD, simulaciones, selección de accesorios y elaboración de planos de una manera coherente.
- Las simulaciones realizadas por elementos finitos demostraron que el valor del factor de seguridad para el cuerpo del cilindro a presión es similar a lo calculado y se encuentra dentro del rango de valores recomendados para recipientes a presión como indica la Tabla 20.
- Una vez establecidos los planos de diseño se siguió el orden de construcción según el diagrama de la Figura 45, evidenciando que no existió variaciones con lo descrito ya que los valores de tolerancias se encuentran los rangos permisibles, juntas soldadas elaboradas con el proceso indicado y acabados superficiales instituidos; obteniendo finalmente la máquina extractora terminada como lo muestra la Tabla 41.

- En función del código ASME se ejecutó la prueba de tipo hidrostática para lo cual se sometió el recipiente a 0.465 MPa (67.5 psi) de presión durante 48 horas continuas. El resultado final de la prueba fue de 0.455 MPa (66 psi) de presión, representado un 2.2% de variación con respecto al valor inicial, el mismo que es aceptado por el código ASME al no superar el 3% establecido. El sistema no sufre pérdidas de presión significativas y el recipiente permanecerá hermético durante todo su proceso.
- Con la ejecución de la primera extracción de aceite esencial se obtuvieron resultados satisfactorios para el eucalipto como materia prima. El rendimiento de la máquina construida es del 90% por proceso al obtener 27 ml de aceite esencial de eucalipto en estado puro. De la misma manera la calidad del aceite es alta por poseer 95.13% en concentración de citronelal y una densidad de 0.911 gr/ml muy similar a los aceites disponibles en el mercado. Las características completas del aceite obtenido se muestran en la Tabla 48.



## 4.2 Recomendaciones

- Seguir todas las instrucciones descritas para la correcta operación del equipo tanto para el montaje, carga del materia prima y desmontaje tal como se indica en el apartado 3.11 o en el ANEXO 19. Esto asegura la eficiencia del proceso y la seguridad de los operarios.
- Usar equipo de protección antes y durante la ejecución del proceso como el uso de guantes para la manipulación de los elementos calientes y guantes de nitrilo para la manipulación del aceite ya que la piel humana no debe entrar en contacto con el producto así también como el uso de mascarillas tal como se puede ver en la señalética del lugar. Así también como ejecutar el proceso para material vegetal perteneciente a la familia de las mirtáceas y a toda la variedad de especies de eucalipto.
- Realizar una limpieza óptima del material vegetal únicamente con agua mineral para no alterar las propiedades de la planta y para evitar que se cuelen impurezas durante el proceso de extracción.
- Para el apartado de mantenimiento se recomienda llevarlo a cabo cada 3 meses a manera de prevención con el fin de verificar que no existan fugas y evitar paradas inesperadas del equipo causando retrasos en la producción de aceite.
- Como proyección futura se recomienda la automatización del equipo, colocación de sensores de presión y temperaturas, apertura automática de válvulas y apagado del sistema con el fin de prescindir en lo posible de la asistencia humana.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Requejo, Aceites Esenciales en Sinergia, Antequera: ExLibric, 2020.
- [2] J. A. P. Alea, Aceites esenciales: química, bioquímica, producción y usos, La Habana: Editorial Universitaria, 2015.
- [3] S. Builes, Biodegradación de aceites usados, El Cid Editor, 2017.
- [4] J. F. S. .. V, Diseño de Equipos de Transferencia de Calor, San Nicolas: Universidad Autonoma Nuevo Leon.
- [5] I. Villaverde, Extraccion de Aceites Esenciales por Destilacion, Madrid: Universidad Politecnica de Madrid, 2021.
- [6] C. Navarrete, «Extracción y Caracterización Del Aceite Esencial De Mandarina Obtenido De Residuos Agroindustriales,» Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Medellín, 2019.
- [7] L. Perez, «Acuamar,» Acuamar, 2021. [En línea]. Available: <https://www.acuamar.es/una-breve-historia-de-la-limpieza/>. [Último acceso: 12 2021].
- [8] R. G. B. y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: McGraw-Hill Interamericana , 2008.
- [9] C. d. C. G. y J. A. J. Juan G. Barbosa, Termodinámica para ingenieros, México: Grupo Editorial Patria, 2016.
- [10] Y. A. y A. J. Ghajar, Trenferencia de calor y masa, Mc Grew Hill.
- [11] F. M. White, Mecánica de fluidos, Madrid: Mc Graw Hill.
- [12] Figmay, «Equipo Extractor de Aceites Esenciales,» 12 2021. [En línea]. Available: <https://figmay.com/extractor-de-aceites-esenciales/>. [Último acceso: 12 2021].
- [13] SENA, Introducción a la industria de los aceites esenciales de plantas medicinales y aromaticas, InoCubar, 2018.
- [14] J. L. G. y G. S. Castellano, Fundamentso de mecánica de fluidos, Alicante: ECU, 2018.

- [15] doTERRA, «¿Qué Son Aceites Esenciales?», 2018. [En línea]. Available: <https://www.doterra.com/US/es/what-is-an-essential-oil>. [Último acceso: 12 2021].
- [16] T. Zanin, «Tuasaúde», 10 2021. [En línea]. Available: <https://www.tuasaude.com/es/te-de-romero/>. [Último acceso: 10 2021].
- [17] M. Reis, «Tuasaúde», 06 2021. [En línea]. Available: <https://www.tuasaude.com/es/te-de-eucalipto/>. [Último acceso: 10 2021].
- [18] T. Zanin, «Tuasaúde», 08 2021. [En línea]. Available: <https://www.tuasaude.com/es/beneficios-del-te-de-menta/>. [Último acceso: 10 2021].
- [19] Q. aem, «Equipos Térmicos Industriales a la Medida», Quemador aem, 2021. [En línea]. Available: [https://www.quemadoraem.es/quemador//barra\\_quemador\\_forma\\_41/index.html](https://www.quemadoraem.es/quemador//barra_quemador_forma_41/index.html). [Último acceso: 02 2022].
- [20] M. G. B. Orellana, Estimación Del Costo De Comercialización De Los Cilindros De Glp En La Cem "Austrogas", Cuenca: UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- [21] F. T., «Calderas PowerMaster», 2020. [En línea]. Available: [https://powermaster.com.mx/www/informacion/combustibles.html#:~:text=Ti ene%20un%200%20Kcal%2Fm%C2%B3\)..](https://powermaster.com.mx/www/informacion/combustibles.html#:~:text=Ti ene%20un%200%20Kcal%2Fm%C2%B3)..) [Último acceso: 03 2022].
- [22] A. W. Society, Structural Welding Code, 2015.
- [23] I. Savewater, «Savewater», [En línea]. Available: [https://www.facebook.com/savewater.ec/?ref=page\\_internal](https://www.facebook.com/savewater.ec/?ref=page_internal). [Último acceso: 01 2022].
- [24] C. Inoxidable, «Cima Inoxidable», 2022. [En línea]. Available: <http://aceroinoxidablee.com/>. [Último acceso: 03 2022].
- [25] J. A. Mercado, «Jose Angel Mercado S.A.», 2020. [En línea]. Available: <https://www.joseangelmercado.com/producto/equipo-de-soldadura-esab-buddy-tig-160/>. [Último acceso: 02 2022].

- [26] D. Acevedo, M. Navarro y L. Monroy, Composición Química del Aceite Esencial de Hojas de Orégano (*Origanum vulgare*), Cartagena: Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Alimentos, 2018.
- [27] M. T. Alarcón, C. G. Conde y G. L. Méndez, Extracción, caracterización y actividad antioxidante del aceite esencial de, Colombia: 3Corporación Universitaria Rafael Núñez, Facultad de Ciencias de la Salud, Programa de Tecnología en, 2018.
- [28] G. G. S. D. A. Clemente Grados, «Composición Química Y Evaluación De La Actividad Antioxidante Del Aceite Esencial Foliar De Eucalyptus Camaldulensis De Norte De Santander (Colombia),» U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, p. 235, 2015.
- [29] T. E. ToolBox, «The Engineering ToolBox,» 2021. [En línea]. Available: [https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d\\_1624.html](https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d_1624.html).
- [30] T. Denny, Felid Distillation for Herbaceous Oils, Tasmania: McKenzie.
- [31] E. Miller, Heat Exchanger Design Handbook, New York: University Publications, 2018.
- [32] Q. Quemadores, «QTA Quemadores,» 2021. [En línea]. Available: [https://nanopdf.com/download/catalogo-general-quemadores-qta\\_pdf](https://nanopdf.com/download/catalogo-general-quemadores-qta_pdf). [Último acceso: 03 2022].
- [33] L. R. P. D. L. B. R. J. S. Kiev Ochoa, «Extracción, caracterización y evaluación de la actividad antibacteriana del aceite esencial de *Senecio graveolens* Wedd (*Wiskataya*),» Scientia Agropecuaria, vol. 1, n° 1, p. 12, 2019.
- [34] A. P, «Química,» 03 2018. [En línea]. Available: <http://formulacion-quimica.blogspot.com/2013/03/destilacion-por-arrastre-con-vapor.html>. [Último acceso: 10 2021].
- [35] P. D. O. y. Q. F. D., Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales, Riobamba, 2017.
- [36] E. L. A. y. J. M. Carvajal, Diseño y construcción de una planta para la extracción de aceites esenciales con capacidad para 300 kg de material vegetal, Colombia, 2019.

- [37] T. y. Temperatura, «Tiempo y Temperatura,» 01 2022. [En línea]. Available: <http://tiempoytemperatura.es/ecuador/latacunga.html#por-horas>. [Último acceso: 01 2022].
- [38] G. M. Mundial, «Acero ASTM A36,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>. [Último acceso: 03 2022].
- [39] T. A. S. o. M. Engineers, Rules For Construction, New York, 2019.

## GLOSARIO

**Terpenos:** Compuestos orgánicos que parten del isopreno que es un hidrocarburo con cinco átomos de carbono es su estructura molecular.

**Sesquiterpénicos:** Compuesto presente en las moléculas de aceites esenciales de las plantas que son la unión de quince terpenos.

**Eugenol:** Derivado fenólico usado en procesos odontológicos por las características farmacológicas.

**Flavonoides:** Serie de compuestos orgánicos que favorecen al crecimiento de las plantas. Se sintetizan por acción de la molécula de fenilalanina que es un aminoácido encontrado en las proteínas.

**Antiespasmódicas:** Conjunto de sustancias naturales que son capaces de inhibir la contracción dolorosa e involuntaria de los músculos del intestino.

**Epicarpio:** Corteza externa que envuelve a los frutos especialmente a los cítricos. El epicarpio es un componente de la epidermis que protege la pulpa del fruto y es el responsable de almacenar sustancias y pigmentos.

**Hidrolisis:** Reacción química el cual involucra a las moléculas del agua con macromoléculas en donde la molécula del agua se rompe y por ende sus enlaces químicos para formar un nuevo compuesto.

**Cohobación:** Proceso de destilación de una determinada sustancia por un número alto de repeticiones, extrae la sustancia líquida y la empareja con la sustancia residual del fondo del contenedor, se condensa y se destila.

**Glicosilación:** Acción de adición de una cadena de carbohidratos a una proteína.

**Compresibilidad:** Propiedad esencial de la materia la cual hace que los cuerpos puedan reducir su volumen al aplicarles una determinada presión sin cambiar sus otras propiedades.

**Monoterpenos:** Familia de los terpenos que contiene 2 isoprenos en su estructura y componen una parte esencial de las especies vegetales con aromas.

**Sesquiterpenos:** Terpenos de la clase de 15 carbonos que componen los aceites esenciales.

**Citronelal:** (C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O) pertenece a la familia de los monoterpenos el cual esparce el aroma cítrico en los aceites esenciales de las plantas aromáticas.

**Citronelol:** (C<sub>10</sub>H<sub>20</sub>O) Pertenece a la familia de los monoterpenos que forma un componente de los aceites esenciales y es el isómero más abundante.

**Geraniol:** componente de los aceites esenciales por ser un monoterpeno y alcohol, posee un aroma suave por lo cual es usado en perfumería.

**Cariofileno:** Componente de olor presente en las flores y los tallos de las plantas, pero también es un desinflamante de aplicación medicinal y alimenticia por estar presente en la pimienta negra.

**1.8-cineol:** Terpeno principal en la composición de aceites esenciales de una variedad de plantas. Otorga propiedades medicinales para el alivio de enfermedades relacionadas con el sistema respiratorio a nivel de descongestión y antitusiva.

**Mirtáceas:** Plantas de tipo arbórea que poseen follaje abundante y alturas de hasta 150 metros. Capacidad de florecer durante toda la época del año y adaptarse a cualquier condición climática.

**CO:** (Monóxido de carbono) Es un gas que no desprende ni olor ni posee color, pero de alta peligrosidad. Se genera por la reacción química de combustibles de todo tipo.

**NOx:** Nomencladora usada para nombrar a grupos compuestos por óxido de nitrógeno que poseen características incoloras e inoloras. Ej. Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), óxido nítrico (NO).

**Peso:** La fuerza gravitacional que ejerce sobre un sistema. Su magnitud viene dada por el producto de la masa por la gravedad que en el Sistema Internacional (S.I) adquiere un valor de 9.8 m/s<sup>2</sup>.

**Masa:** Propiedad de la materia que indica la cantidad de sustancia o materia que posee un sistema termodinámico. En el S.I adquiere la unidad del kilogramo (kg).

**Volumen:** Propiedad de la materia que determina las dimensiones que un sistema termodinámico ocupa en el espacio. El S.I lo designa con el metro cubico ( $m^3$ ) como unidad.

**Densidad:** relación que existe entre la masa y el volumen involucradas en un sistema termodinámico. El S.I designa sus unidades con  $kg/m^3$ .

**Toriesférica:** Nombre de un tipo de forma para tapas de recipientes por lo general sometidos a presiones interna. Estas tapas presentan un radio establecido para el diámetro del plato central.

**Inmiscible:** Termino químico referente a una propiedad de las sustancias donde su capacidad para mezclarse se con otras sustancias ajenas a su composición está restringida de forma natural.



# **ANEXOS**

## ANEXO 1



### FICHA TÉCNICA

#### ACERO INOXIDABLE 304-L

ESTÁNDARES APLICABLES:

ASTM A-240, ASTM A-666, UNS S30403, AMS5511

EQUIVALENTES:

DIN: 1.4306, X2CrNi18-9  
JIS: SUS304L

304-L	COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)					
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Otros
	0.03 max	2.0 max	0.75 max	18.0-20.0	8.0-12.0	P 0.040 max, S 0.030 max, N 0.10 max

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS						
DENSIDAD						
8.02 g/cm <sup>3</sup> (0.290 lb/plg <sup>3</sup> )						

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS						
TEMPER	RESISTENCIA A LA TENSION	RESISTENCIA DE CEDENCIA (0.2%)	ELONGACIÓN (2") (%)	DUREZA TÍPICA		
ANNEALED	70 KSI min (485 MPa min)	25 KSI min (170 MPa min)	40 min	88 Rb max		
1/16 H	80 KSI min (550 MPa min)	45 KSI min (310 MPa min)	40 min			
1/8 H	100 KSI min (690 MPa min)	55 KSI min (380 MPa min)	30 min			
1/4 H	125 KSI min (860 MPa min)	75 KSI min (515 MPa min)	8% < 0.030" 10% > 0.030"			
1/2 H	150 KSI min (1035 MPa min)	110 KSI min (760 MPa min)	5% < 0.015" 6% ≥ 0.015"			

NOTA: La dureza es unicamente una guia, la RT y RC son las propiedades mandatorias

NOTA: OTROS TEMPER S PUEDEN ESTAR DISPONIBLES, CONSULTE AL REPRESENTANTE.

#### CARACTERÍSTICAS

El tipo 304-L es un acero inoxidable austenítico al Cr-Ni de bajo carbono, el propósito del bajo carbono es mantener una buena resistencia a la corrosión en partes los cuales son fabricados por medio de soldadura y no serán posteriormente recocidos.

#### APLICACIONES

Aplicaciones medicas y quirurgicas, tubing, mangueras flexibles, partes arquitectonicas y variedad de piezas estampadas.

[www.ulbrinox.com](http://www.ulbrinox.com)

## ANEXO 2

**TABLA A-9**

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P <sub>sat</sub> , kPa	Densidad, ρ kg/m <sup>3</sup>		Entalpia de vapori- zación, h <sub>g</sub> , kJ/kg	Calor especifico, c <sub>p</sub> , J/kg · K		Conductividad técnica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 <sup>-3</sup>	0.922 × 10 <sup>-5</sup>	13.5	1.00	-0.068 × 10 <sup>-3</sup>
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 <sup>-3</sup>	0.934 × 10 <sup>-5</sup>	11.2	1.00	0.015 × 10 <sup>-3</sup>
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 <sup>-3</sup>	0.946 × 10 <sup>-5</sup>	9.45	1.00	0.733 × 10 <sup>-3</sup>
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 <sup>-3</sup>	0.959 × 10 <sup>-5</sup>	8.09	1.00	0.138 × 10 <sup>-3</sup>
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 <sup>-3</sup>	0.973 × 10 <sup>-5</sup>	7.01	1.00	0.195 × 10 <sup>-3</sup>
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 <sup>-3</sup>	0.987 × 10 <sup>-5</sup>	6.14	1.00	0.247 × 10 <sup>-3</sup>
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 <sup>-3</sup>	1.001 × 10 <sup>-5</sup>	5.42	1.00	0.294 × 10 <sup>-3</sup>
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 <sup>-3</sup>	1.016 × 10 <sup>-5</sup>	4.83	1.00	0.337 × 10 <sup>-3</sup>
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 <sup>-3</sup>	1.031 × 10 <sup>-5</sup>	4.32	1.00	0.377 × 10 <sup>-3</sup>
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 <sup>-3</sup>	1.046 × 10 <sup>-5</sup>	3.91	1.00	0.415 × 10 <sup>-3</sup>
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 <sup>-3</sup>	1.062 × 10 <sup>-5</sup>	3.55	1.00	0.451 × 10 <sup>-3</sup>
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 <sup>-3</sup>	1.077 × 10 <sup>-5</sup>	3.25	1.00	0.484 × 10 <sup>-3</sup>
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 <sup>-3</sup>	1.093 × 10 <sup>-5</sup>	2.99	1.00	0.517 × 10 <sup>-3</sup>
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 <sup>-3</sup>	1.110 × 10 <sup>-5</sup>	2.75	1.00	0.548 × 10 <sup>-3</sup>
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 <sup>-3</sup>	1.126 × 10 <sup>-5</sup>	2.55	1.00	0.578 × 10 <sup>-3</sup>
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 <sup>-3</sup>	1.142 × 10 <sup>-5</sup>	2.38	1.00	0.607 × 10 <sup>-3</sup>
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 <sup>-3</sup>	1.159 × 10 <sup>-5</sup>	2.22	1.00	0.653 × 10 <sup>-3</sup>
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 <sup>-3</sup>	1.176 × 10 <sup>-5</sup>	2.08	1.00	0.670 × 10 <sup>-3</sup>
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 <sup>-3</sup>	1.193 × 10 <sup>-5</sup>	1.96	1.00	0.702 × 10 <sup>-3</sup>
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 <sup>-3</sup>	1.210 × 10 <sup>-5</sup>	1.85	1.00	0.716 × 10 <sup>-3</sup>
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 <sup>-3</sup>	1.227 × 10 <sup>-5</sup>	1.75	1.00	0.750 × 10 <sup>-3</sup>
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 <sup>-3</sup>	1.261 × 10 <sup>-5</sup>	1.58	1.00	0.798 × 10 <sup>-3</sup>
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 <sup>-3</sup>	1.296 × 10 <sup>-5</sup>	1.44	1.00	0.858 × 10 <sup>-3</sup>
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 <sup>-3</sup>	1.330 × 10 <sup>-5</sup>	1.33	1.01	0.913 × 10 <sup>-3</sup>
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 <sup>-3</sup>	1.365 × 10 <sup>-5</sup>	1.24	1.02	0.970 × 10 <sup>-3</sup>
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 <sup>-3</sup>	1.399 × 10 <sup>-5</sup>	1.16	1.02	1.025 × 10 <sup>-3</sup>
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 <sup>-3</sup>	1.434 × 10 <sup>-5</sup>	1.09	1.05	1.145 × 10 <sup>-3</sup>
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 <sup>-3</sup>	1.468 × 10 <sup>-5</sup>	1.03	1.05	1.178 × 10 <sup>-3</sup>
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 <sup>-3</sup>	1.502 × 10 <sup>-5</sup>	0.983	1.07	1.210 × 10 <sup>-3</sup>
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 <sup>-3</sup>	1.537 × 10 <sup>-5</sup>	0.947	1.09	1.280 × 10 <sup>-3</sup>
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 <sup>-3</sup>	1.571 × 10 <sup>-5</sup>	0.910	1.11	1.350 × 10 <sup>-3</sup>
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 <sup>-3</sup>	1.641 × 10 <sup>-5</sup>	0.865	1.15	1.520 × 10 <sup>-3</sup>
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 <sup>-3</sup>	1.712 × 10 <sup>-5</sup>	0.836	1.24	1.720 × 10 <sup>-3</sup>
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 <sup>-3</sup>	1.788 × 10 <sup>-5</sup>	0.832	1.35	2.000 × 10 <sup>-3</sup>
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 <sup>-3</sup>	1.870 × 10 <sup>-5</sup>	0.854	1.49	2.380 × 10 <sup>-3</sup>
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 <sup>-3</sup>	1.965 × 10 <sup>-5</sup>	0.902	1.69	2.950 × 10 <sup>-3</sup>
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 <sup>-3</sup>	2.084 × 10 <sup>-5</sup>	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 <sup>-3</sup>	2.255 × 10 <sup>-5</sup>	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 <sup>-3</sup>	2.571 × 10 <sup>-5</sup>	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 <sup>-3</sup>	4.313 × 10 <sup>-5</sup>	—	—	—

*Nota 1:* La viscosidad cinemática  $\nu$  y la difusividad térmica  $\alpha$  se pueden calcular a partir de sus definiciones,  $\nu = \mu/\rho$  y  $\alpha = k/\rho c_p = \nu/\text{Pr}$ . Las temperaturas de 0.01 °C, 100 °C y 374.14 °C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

*Nota 2:* La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

*Fuente:* Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

## ANEXO 3

**Tabla 8-2**

Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF\*

Designación de tamaño	Diámetro nominal pulg	Serie gruesa-UNC			Serie fina-UNF		
		Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión $A_s$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_m$ , pulg <sup>2</sup>	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión $A_s$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_m$ , pulg <sup>2</sup>
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{16}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{1}{8}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{16}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{1}{4}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{5}{16}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{3}{8}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{7}{16}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
$\frac{1}{2}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{9}{16}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

\*Esta tabla se compiló de la norma ANSI B1.1-1974. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación  $d_m = d - 1.299\ 038p$  y el diámetro de paso a partir de  $d_p = d - 0.649\ 519p$ . Para calcular el área de esfuerzo de tensión se usaron la media del diámetro de paso y el diámetro menor.

## ANEXO 4

**Tabla 8-9**

Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado de SAE núm.	Intervalo de tamaños, de inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

\*Las resistencias mínimas son resistencias que excede 99% de los sujetadores.

Tamaño nominal, pulg	Ancho W	Altura H		
		Hexagonal regular	Gruesa o ranurada	Contra-tuerca
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{9}{32}$	$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{17}{64}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{13}{32}$	$\frac{7}{32}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{29}{64}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{39}{64}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{41}{64}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{27}{64}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{5}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{29}{32}$	$\frac{31}{64}$
1	$1\frac{1}{2}$	$\frac{55}{64}$	1	$\frac{35}{64}$
$1\frac{1}{8}$	$1\frac{11}{16}$	$\frac{31}{32}$	$1\frac{5}{32}$	$\frac{39}{64}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{23}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$2\frac{1}{16}$	$1\frac{11}{64}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{25}{32}$
$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{9}{32}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{27}{32}$

Tamaño nominal, mm				
M5	8	4.7	5.1	2.7
M6	10	5.2	5.7	3.2
M8	13	6.8	7.5	4.0
M10	16	8.4	9.3	5.0
M12	18	10.8	12.0	6.0
M14	21	12.8	14.1	7.0
M16	24	14.8	16.4	8.0
M20	30	18.0	20.3	10.0
M24	36	21.5	23.9	12.0
M30	46	25.6	28.6	15.0
M36	55	31.0	34.7	18.0

## ANEXO 5

### Caños

1.

Caño

Código: C



Tubo especial de acero inoxidable AISI 304 con prueba hidráulica. Largo: 4,00 m.

CÓDIGO	DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	DIÁMETRO EXTERNO (mm)	ESPEJOR DE PARED (mm)	PESO (kg/m)
C134000	1/2"	15.88	0.8	0.301
C204000	3/4"	22.22	1.0	0.529
C254000	1"	28.58	1.0	0.687
C304000	1 1/4"	34.00	1.2	0.980
C404000	1 1/2"	42.70	1.2	1.240
C504000	2"	48.60	1.2	1.420
C604000	2 1/2"	60.50	1.5	2.200
C886000	3"	-	-	-
C1146000	4"	-	-	-

## ANEXO 6

**TABLA A-4**

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P <sub>sat</sub> kPa	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v <sub>f</sub>	Vapor sat., v <sub>g</sub>	Líqu. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vapor sat., u <sub>g</sub>	Líqu. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vapor sat., h <sub>g</sub>	Líqu. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vapor sat., s <sub>g</sub>
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

## ANEXO 7



FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

### FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300		
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI		<b>304</b>	<b>316</b>	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2,5%*	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm <sup>3</sup> )	7,9	7,95 - 7,98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16,0 - 17,30	16,02 - 16,5	
	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	1398/1454	1371/1398	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(μΩm)	0,72 - 0,73	0,73 - 0,74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN	(%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCUL / KVL	(J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C	(N/mm <sup>2</sup> )	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C	(N/mm <sup>2</sup> )	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C	σ <sub>1/10</sub> /t (N/mm <sup>2</sup> )	68 / 42 / 14,5 / 4,9	82 / 62 / 20 / 6,5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL	(OC)	ENFR. RÁPIDO 1008/1120	ENFR. RÁPIDO 1008/1120	
	TEMPLADO		NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL	(C)	1200 / 925	1200 / 925	
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE		925 / 840	925 / 840	
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD		MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112		45%	45%	
	EMBUTICIÓN		MUY BUENA	BUENA	

\* Son aceptables tolerancias de un 1%



## ANEXO 8

<b>Fluido industrial</b>	<b><math>R_s</math> (m<sup>2</sup> K/W)</b>
<b>Gases y vapores</b>	
Gas manufacturado	0,001761
Gases de escapes de motor	0,001761
Vapor libre de aceite	0,000088
Vapores de refrigerantes con aceite	0,000352
Aire comprimido	0,000176
Vapores de amoníaco	0,000176
Vapores de CO <sub>2</sub>	0,000176
Vapores de cloro	0,000352
Gas de combustión de carbón	0,001761
Gas natural	0,000881
<b>Líquidos</b>	
Sales fundidas	0,000088
Refrigerantes	0,000176
Fluido hidráulico	0,000176
Medio orgánico de transferencia de uso industrial	0,000352
Amoníaco líquido	0,000176
Amoníaco líquido con aceite	0,000528
Soluciones de cloruro de calcio	0,000528
Soluciones de cloruro de sodio	0,000528
CO <sub>2</sub> líquido	0,000176
Cloro líquido	0,000352
Soluciones de metanol	0,000352
Soluciones de etanol	0,000352
Soluciones de etilén glicol	0,000352
Aceites vegetales	0,000528
Gasolina natural y gases petroleros licuados	0,000176 – 0,000352
Naftas líquidas	0,000176
Queroseno	0,000352 – 0,000528
Gasóleo liviano	0,000352 – 0,000528
Gasóleo pesado	0,000528 – 0,000881
Soluciones de soda caústica	0,000352
Asfalto	0,000881
Fuel oil n° 2	0,000352
Fuel oil n° 6	0,000881
Aceite de transformadores	0,000176
Lubricante de máquina	0,000176
Aceite para templado	0,000705
Crudos, -30 a 175 °C	0,000352 – 0,000881
Crudos, 175 a 230 °C	0,000528 – 0,001057

Temperatura del medio calefactor	Hasta 115 °C		115 a 205 °C	
Temperatura del agua	Hasta 50 °C		Encima de 50 °C	
Velocidad del agua (m/s)	≤ 0,9	> 0,9	≤ 0,9	> 0,9
Agua de mar	0,000088	0,000088	0,000176	0,000176
Agua de torre de enfriamiento				
Tratada	0,000176	0,000176	0,000352	0,000352
No tratada	0,000528	0,000528	0,000881	0,000705
Agua municipal o de pozo	0,000176	0,000176	0,000352	0,000352
Agua de río	0,000528	0,000352	0,000705	0,000528
Agua lodosa	0,000528	0,000352	0,000705	0,000528
Aguas duras (> 15 granos/gal)	0,000528	0,000528	0,000881	0,000881
Condensado	0,000088	0,000088	0,000088	0,000088
Agua de caldera tratada	0,000176	0,000088	0,000176	0,000176
Agua de enfriamiento de chaquetas	0,000176	0,000176	0,000176	0,000176

Los valores de  $R_s$  están en  $m^2 K/W$ .

## ANEXO 9

**TABLA A-5**

Agua saturada. Tabla de presiones

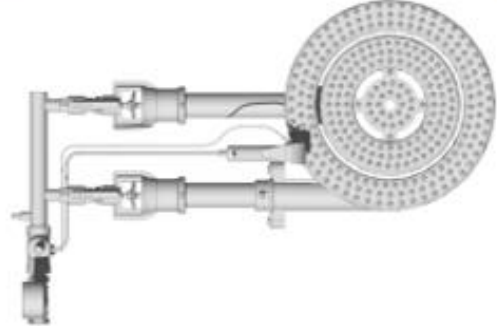
Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T</i> <sub>sat</sub> °C	Volumen específico, <i>m</i> <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., <i>v</i> <sub>f</sub>	Vapor sat., <i>v</i> <sub>g</sub>	Liq. sat., <i>u</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>u</i> <sub>fg</sub>	Vapor sat., <i>u</i> <sub>g</sub>	Liq. sat., <i>h</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>h</i> <sub>fg</sub>	Vapor sat., <i>h</i> <sub>g</sub>	Liq. sat., <i>s</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>s</i> <sub>fg</sub>	Vapor sat., <i>s</i> <sub>g</sub>
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

## ANEXO 10

### wayler Capacidades y presentaciones

#### Sistemas Atmosféricos

Modelo	Capacidad en kcal/h		ø M/M CUERPO	ENTRADA DE GAS
	Gas Natural	GPI		
R-40	5.000	4.000	130	1/2"
R-48	7.500	6.000	140	1/2"
R-63	12.000	8.500	180	1/2"
R-100	20.000	15.000	210	1/2"
R-130	28.000	21.000	240	1/2"
R-199	45.000	30.000	330	1/2"
R-130/73	65.000	45.000	370	3/4"
R-130/258	100.000	90.000	500	1"



#### Sistemas Gas Aire

Modelo	Capacidad en kcal/h		ø M/M CUERPO	ENTRADA DE GAS
	Gas Natural/	GPI		
R-100 GA	100.000		210	3/4"
R-130 GA	150.000		240	1"
R-199 GA	190.000		330	1"
R-130-73 GA	270.000		370	1"
R-130-258 GA	400.000		500	1 1/2"

#### SISTEMAS DE SEGURIDAD

Los quemadores industriales de la línea R, son fabricados con distintos sistemas de seguridad como ser:

Válvulas de seguridad a termocupla, electroválvulas para control de temperatura o totalmente electrónicos con control de llama por ionización, estando en sintonía con las normativas vigentes de ENARGAS.

#### Presentaciones:



- 1 - Con filtro.
- 2 - Con válvula de seguridad a termocupla.
- 3 - Con sistemas automáticos con electroválvula.
- 4 - Con encendido piezoeléctrico.
- 5 - Con sistemas electrónicos de seguridad.

### wayler Fabricación de cerveza Artesanal



Preparado para  
descarga central  
de ollas



- + Fabricados bajo norma NAG201 de alcance nacional.
- + Automatización de acuerdo a necesidad.
- + Instrumentos de precisión que permiten garantizar la calidad de la cerveza.
- + Instalación simple
- + Durabilidad garantizada.



Incluyen todos los elementos de seguridad y control según las normas vigentes: Filtro de gas, manómetro, válvula de seguridad a termocupla y piloto

**SOS  
INSTALADOR  
DE EQUIPOS DE COMBUSTIÓN**

**AMERICAN  
BURNERS**

**TIENEN  
CURSOS DE CAPACITACIÓN  
GRATUITOS**

Señalamos y mantenemos de equipos. Teje para sus calderas como industrial.

**NUEVOS CURSOS SOBRE  
INSTALACIÓN Y CONVERSIÓN DE  
EQUIPOS A BOMBAS,**  
de gas están ahora a tu alcance.

Consultar con nosotros a través de nuestro sitio web  
[www.americanburners.com.ar](http://www.americanburners.com.ar)

**SECCIÓN COMERCIALES Y ENTRENAMIENTO**

**AMERICAN BURNERS**  
LUBRIFICANTES  
SOLUCIONES EN GAS



Sistemas gas-aire forzada para grandes potencias

Este quemador también se aplica a:

- + Reactores
- + Calderas
- + Termotanques
- + Generadores de calor
- + Cocinas industriales
- + Crisoles para fundición de metales
- + Recipientes para calentamiento de líquidos



Calentamiento de tanques y bateas



Pala conifera



Destiladores



Calderas e intercambiadores verticales



Casa Central  
Dr. F. Ameghino 1877/79 - (1407) CABA - Argentina  
Tel. (54-11) 4682-9114 - Tel./Fax: (54-11) 4683-5233  
[www.americanburners.com.ar](http://www.americanburners.com.ar) / [ventas@americanburners.com.ar](mailto:ventas@americanburners.com.ar)

**FABRICACION DE CERVEZA ARTESANAL**

Los quemadores **Wayler Serie R** son especialmente aptos para la fabricación de cerveza artesanal.



Preparado para descarga central de ollas

+ Fabricados bajo norma NAG201 de alcance nacional.

+ Automatización de acuerdo a necesidad.

+ Instrumentos de precisión que permiten garantizar la calidad de la cerveza.

+ Instalación simple

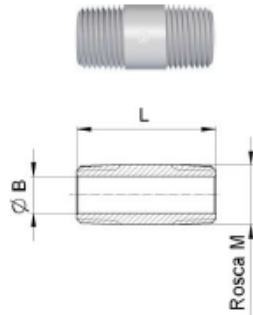
+ Durabilidad garantizada



## ANEXO 11

**meceprim**

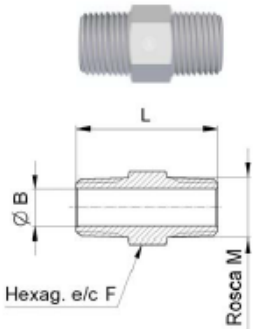
**macesa**



### PMC

#### MAMELÓN CILÍNDRICO CLOSE NIPPLE

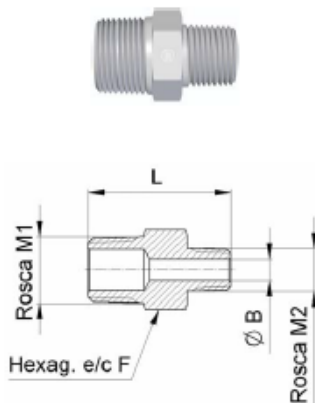
Conexión		Ref.	Dimensiones			Presión máxima			Peso ~ (5)	
Rosca M NPT x NPT			Ø B	L	Inox.	A. Carb.	Latón	BAR PSI	Kg.	Lbs.
1/8	1/8	<b>1PMC1</b>	4.75	25	517 7500	431 6250	259 3750	1.2	2.6	
1/4	1/4	<b>2PMC2</b>	7	35	517 7500	431 6250	259 3750	2.6	5.8	
3/8	3/8	<b>3PMC3</b>	9.5	37	448 6500	373 5415	224 3250	4.1	9.1	
1/2	1/2	<b>4PMC4</b>	12	45	448 6500	373 5415	224 3250	7.5	16.6	
3/4	3/4	<b>5PMC5</b>	16	48	448 6500	373 5415	224 3250	12	26.5	
1	1	<b>6PMC6</b>	21.5	57	414 6000	345 5000	207 3000	20.7	45.6	



### PME

#### MAMELÓN HEXAGONAL HEX NIPPLE

Conexión		Ref.	Dimensiones			Presión máxima			Peso ~ (5)	
Rosca M NPT x NPT			Ø B	F	L	Inox.	A. Carb.	Latón	Kg.	Lbs.
1/8	1/8	<b>1PME1</b>	4.75	11	25	517 7500	431 6250	259 3750	1.2	2.6
1/4	1/4	<b>2PME2</b>	7	14	35	517 7500	431 6250	259 3750	2.6	5.8
3/8	3/8	<b>3PME3</b>	9.5	18	37	448 6500	373 5415	224 3250	4.1	9.1
1/2	1/2	<b>4PME4</b>	12	22	45	448 6500	373 5415	224 3250	7.5	16.6
3/4	3/4	<b>5PME5</b>	16	27	48	448 6500	373 5415	224 3250	12	26.5
1	1	<b>6PME6</b>	21.5	34	57	414 6000	345 5000	207 3000	20.7	45.6



### PMR

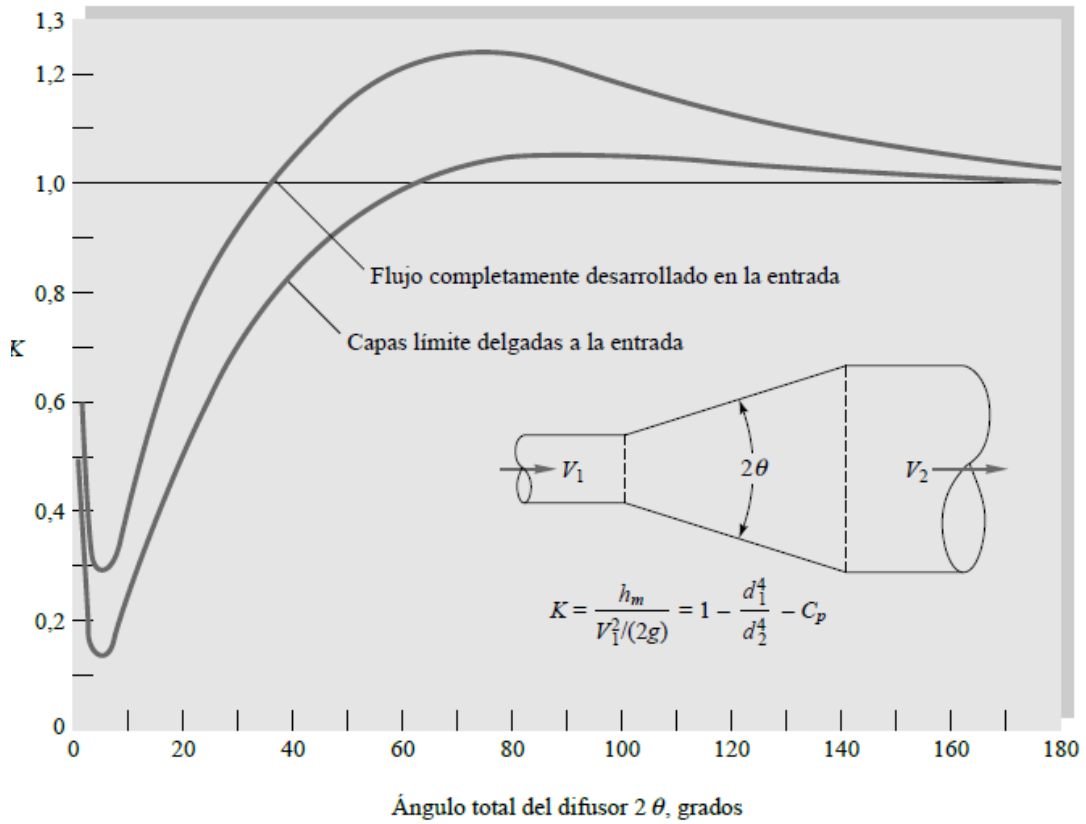
#### MAMELÓN HEX. REDUCCIÓN HEX REDUCING NIPPLE

Conexión		Ref.	Dimensiones			Presión máxima			Peso ~ (5)	
Rosca M1 NPT x NPT	Rosca M2		Ø B	F	L	Inox.	A. Carb.	Latón	Kg.	Lbs.
1/4	1/8	<b>2PMR1</b>	4.75	14	30.5	517 7500	431 6250	259 3750	2.1	4.6
3/8	1/8	<b>3PMR1</b>	4.75	18	32	448 6500	373 5415	224 3250	3.4	7.5
3/8	1/4	<b>3PMR2</b>	7	18	36.5	448 6500	373 5415	224 3250	3.8	8.4
1/2	1/8	<b>4PMR1</b>	4.75	22	36.5	448 6500	373 5415	224 3250	5.8	12.8
1/2	1/4	<b>4PMR2</b>	7	22	41	448 6500	373 5415	224 3250	6.2	13.6
1/2	3/8	<b>4PMR3</b>	9.5	22	41.5	448 6500	373 5415	224 3250	6.5	14.4
3/4	1/4	<b>5PMR2</b>	7	27	43	448 6500	373 5415	224 3250	9.8	21.6
3/4	1/2	<b>5PMR2</b>	12	27	47	448 6500	373 5415	224 3250	11	24.3
1	1/2	<b>6PMR4</b>	12	34	52	414 6000	345 5000	207 3000	17.4	38.3
1	3/4	<b>6PMR5</b>	16	34	53	414 6000	345 5000	207 3000	18.3	40.3

## ANEXO 12

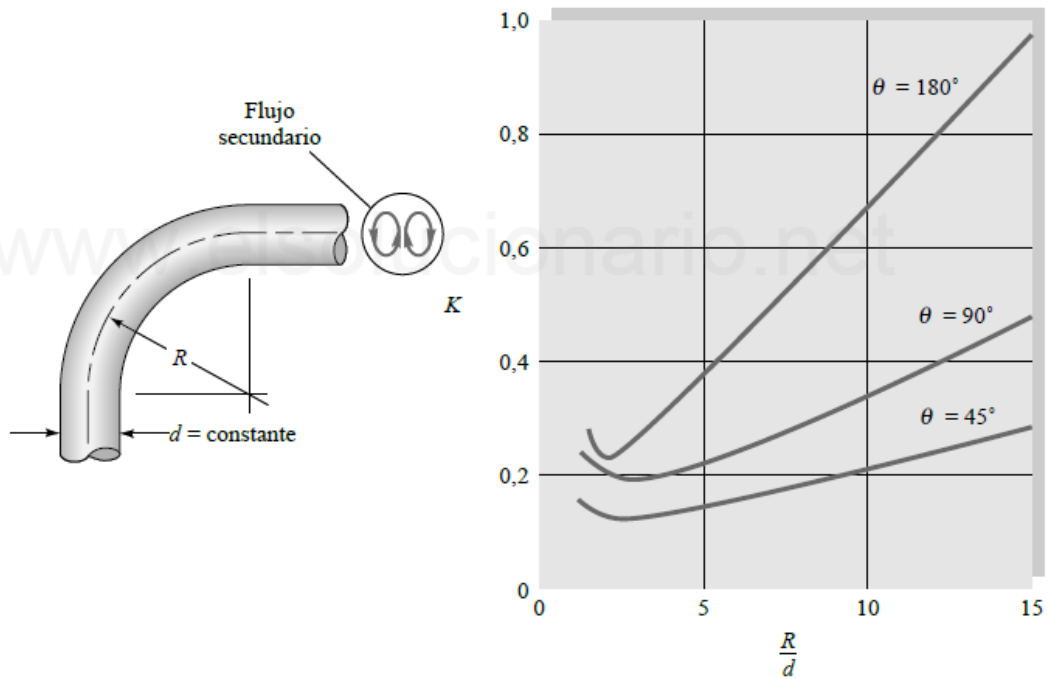
	Diámetro nominal, in									
	Roscado					Acoplado				
	$\frac{1}{2}$	1	2	4	1	2	4	8	20	
Válvulas (abiertas):										
Globo	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5	
Compuerta	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03	
De retención	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
De ángulo	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0	
Codos:										
45° normal	0.39	0.32	0.30	0.29						
45° suave					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14	
90° normal	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21	
90° suave	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10	
180° normal	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20	
180° suave					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10	
«Tes»:										
Flujo directo	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07	
Flujo lateral	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41	

## ANEXO 13





## ANEXO 14

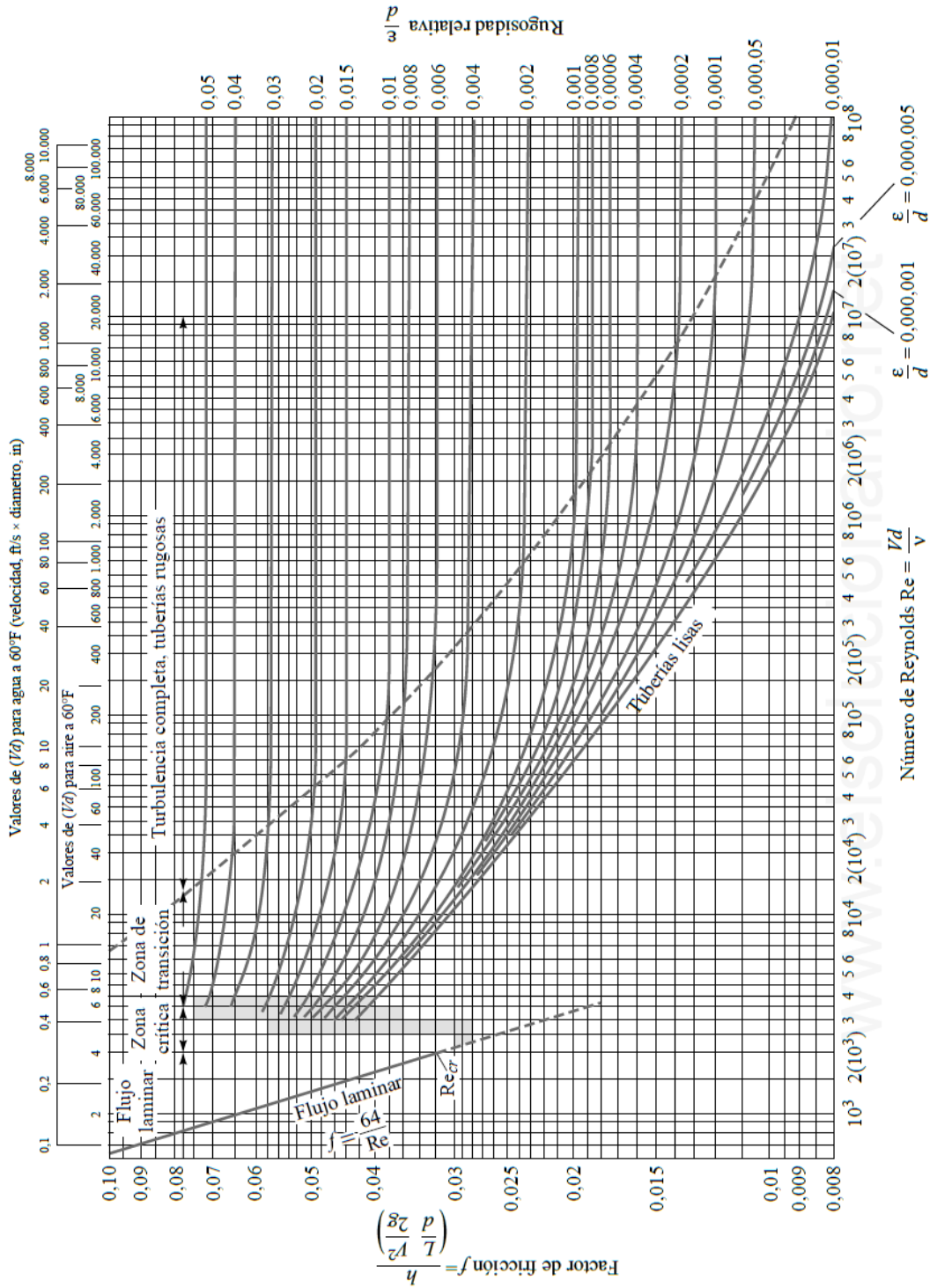


## ANEXO 15

Tabla 6.1. Valores recomendados de rugosidad para conductos comerciales.

Material	Condición	$\epsilon$		Incertidumbre, %
		ft	mm	
Acero	Lámina metálica, nueva	0,00016	0,05	$\pm 60$
	Inoxidable	0,000007	0,02	$\pm 50$
	Comercial, nuevo	0,00015	0,046	$\pm 30$
Hierro	Estriado	0,01	3,0	$\pm 70$
	Oxidado	0,007	2,0	$\pm 50$
	Fundido, nuevo	0,00085	0,26	$\pm 50$
Latón	Forjado, nuevo	0,00015	0,046	$\pm 20$
	Galvanizado, nuevo	0,0005	0,15	$\pm 40$
	Fundido asfáltico	0,0004	0,12	$\pm 50$
Plástico	Laminado	0,000007	0,002	$\pm 50$
Vidrio	—	Liso	Liso	$\pm 60$
Hormigón	Liso	0,00013	0,04	$\pm 60$
	Rugoso	0,007	2,0	$\pm 50$
Caucho	Liso	0,000033	0,01	$\pm 60$
Madera	En duelas	0,0016	0,5	$\pm 40$

# ANEXO 16



## ANEXO 17

### MOTOBOMBAS WATERPUMPS

Traslada agua de un sitio a otro con la mayor comodidad. Gracias a las motobombas Goodyear podrás llenar piscinas, vaciar pozos y succionar agua de manera fácil.

*Transfer water from one place to another with the greatest comfort. Thanks to Goodyear motor pumps you can fill swimming pools, empty wells and suck water in an easy way.*



**GY 25WP**

**GY 40WP**

**GY 50WP**

**GY 80WP**

	<b>GY 25WP</b>	<b>GY 40WP</b>	<b>GY 50WP</b>	<b>GY 80WP</b>
Motor / Engine	2 T	4 T	4 T	4 T
Cilindrada / Displacement	32,6 cc	97 cc	196 cc	196 cc
Potencia / Power	0,9 kW - 1,2 hp	1,85 kW - 2,5 hp	4,85 kW - 6,5 hp	4,85 kW - 6,5 hp
RPM	6500 rpm	4200 rpm	3600 rpm	3600 rpm
Depósito de combustible / Petrol tank	1,1 l	1,1 l	3,6 l	3,6 l
Depósito de aceite / Oil tank	-	0,6 l	0,6 l	0,6 l
Altura máx. elevación / Total head	30 m	20 m	30 m	30 m
Altura máx. absorción / Suction head	8 m	6 m	8 m	8 m
Caudal máx. / Max. flow	8.000 l/h	15.000 l/h	36.000 l/h	60.000 l/h
Ø Entrada-salida / In-out Ø	1" 25 mm	1,5" 38 mm	2" 50 mm	3" 75 mm
Peso / Weight	7,8 kg	13 kg	25 kg	28 kg
Tipo de bomba / Type of pump	Caudal / Flow	Caudal / Flow	Caudal / Flow	Caudal / Flow

**PRO** Equipo recomendado para uso profesional / Recommended equipment for professional use

**L** Solo venta en LATAM / LATAM selling

**S** Disponible versión S / Versión S available

89

## ANEXO 18



**SAVEWATER**  
INGENIERIA, MONITOREO, CONTROL Y CALIDAD DEL AGUA  
COTOPAXI - LATACUNGA

AMPLIACIÓN AL INFORME DE ENSAYO N°: 0288A

Solicitante: Jonathan Moreano, Henry Tenorio

Ubicación: Latacunga

Fecha: 06 de junio del 2022

Fecha y hora de la evaluación	03/06/2022	Fecha final de evaluación	06/06/2022	T. Ambiente
	14H25			22.4 °C
Toma de muestra:	Ing. Israel Moreano		Fecha y Hora	06/06/2022 10H00

Identificación: Muestra de aceite esencial de eucalipto.

Temperatura	Ambiente
Contenedor	Vidrio ámbar
Volumen	4 mL

**Resultado de análisis.**

Tiempo transcurrido (min)	Cantidad (%)	Sustancia
4.35	0.22	1.8-cineol
5.10	90.16	citronelal
7.55	1.56	*isopulegol
8.41	0.33	neoisopulegol
9.23	3.45	*citronelol
10.25	1.98	*geraniol
12.01	0.66	beta elemeno
13.45	0.23	cariofileno

\*Sustancias impurezas.

Se toma de referencia la norma ISO, NTP y NMX para el análisis de propiedades en aceites esenciales.

Análisis solicitado	Método / Norma referencia	Unidades	Resultado	Incertidumbre
Concentración citronelal	ISO 592	% P/P	95.13	±1.20
Rotación óptica específica	NTP 319.076	°	0.45	±0.25
Pureza óptica (+)-citronelal	ISO 592	%	51.47	±1.26
Índice de refracción	NTP 319.075	-	1.422	±0.02
Densidad	NTP 319.081	gr/mL	0.911	±0.12
Soluble en etanol	NMX-K-081	°	80 y 90	-

**Nota:** El análisis se realizó en las instalaciones de la empresa SaveWater.

\* Resultados proporcionados por laboratorios SAVEWATER

\*\* Resultados subcontrados acreditados

\*\*\* Resultados subcontrados no acreditados

**Notas y condiciones de servicios:**

En caso de requerir análisis no considerados dentro de la oferta técnica, éstos se realizarán subcontratando únicamente a un laboratorio acreditado por el SAE.

El Laboratorio proporcionará frascos, recipientes, fundas ziploc y preservantes térmicos sin recargo adicional.

Para cualquier aclaración, favor comuníquese con nosotros a [InfoSaveWater@gmail.com](mailto:InfoSaveWater@gmail.com), Telf. 032 262056, celular 0995239676.



ING. ISRAEL MOREANO CULQUI

Tel: 032262056 / 0995239676

E mail: [infosavewater@gmail.com](mailto:infosavewater@gmail.com)

Latacunga, 03 de junio del 2022



[InfoSaveWater@gmail.com](mailto:InfoSaveWater@gmail.com)



032262056



0995239676

INGENIERÍA  
**SAVEWATER**

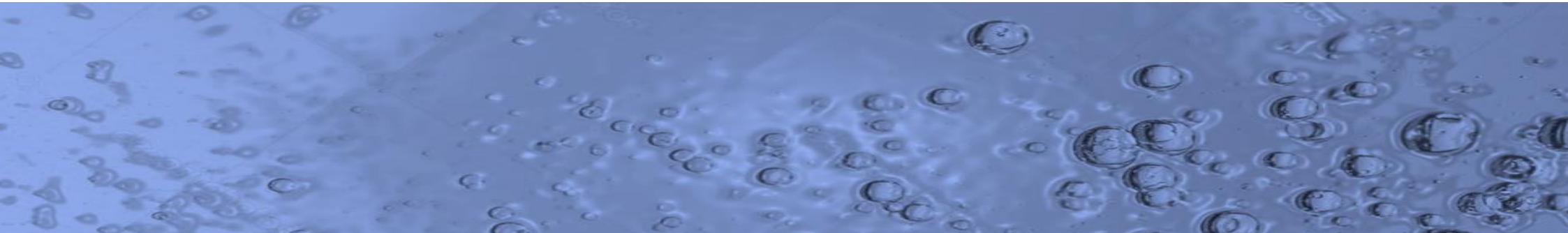
## ANEXO 19



**MÁQUINA EXTRACTORA DE ACEITES ESENCIALES (AE)**



**MANUAL DE FUNCIONAMIENTO**



**INGENIERÍA  
SAVEWATER**

## ABREVIACIONES

- Material vegetal (MV)
- Aceite esencial (AE)

## PRECAUCIONES

Antes de poner en marcha este equipo, lea minuciosamente este manual y guárdelo para futuras consultas.

### Reemplazo de accesorios

No se deben reemplazar los accesorios de conexión, almacenamiento y alimentación del sistema por productos genéricos. Para posible reemplazo ponerse en contacto con el fabricante.

## ADVERTENCIA

**APAGUE EL SISTEMA INMEDIAMENTE** y abandone el área para salvaguarda su integridad física e infórmese del evento al personal de seguridad en caso de:

- ruidos altos,
- percepción de fuga de gas,
- sobrecalentamiento, o
- presión elevada.

**NO REINICE EL USO DEL EQUIPO HASTA QUE EL PERSONAL ENCARGAFO LO APRUEBE LUEGO DE UN DIAGNOSTICO PREVIO**

## SEGURIDAD

Este equipo se ha diseñado controlando los estándares, códigos y normas existentes para la contracción de equipos que trabajan con altas presiones como el código ASME Sección VIII, División 1, 2019. Es importante saber que la mala manipulación de cualquier equipo puede llevar a su avería o mal funcionamiento, por tanto, para evitar cualquier contratiempo o lesión, ponga atención a los siguientes puntos:

- Tome en cuenta todas las precauciones y advertencias.
- Examine periódicamente las conexiones de todo el sistema, en especial las conexiones provenientes del sistema de alimentación.
- Descontinúe el uso del sistema, cierre la válvula de alimentación, válvulas de agua y bomba inmediatamente si la máquina funciona de manera anormal, emisiones de olores o sonidos extraños, los medidores de temperatura o presión sobrepasan los valores permisibles o ha sufrido deformación.
- Póngase en contacto con el fabricante en caso de mal funcionamiento.

## USO Y MANIPULACIÓN

- La operación de la máquina debe hacerse en un lugar con correcta iluminación, ventilación y distancia segura.
- Mantenga todos los accesorios lejos del alcance de niños o personas con capacidades especiales. Estas podrían tocar

superficies con altas temperaturas, tropezarse con mangueras o configurar válvulas lo cual les causaría sufrir quemaduras graves, accidentes o un incorrecto funcionamiento del equipo.

- No opere el equipo mientras usa auriculares debido a que podría impedir la percepción de ruidos peligrosos emitidos por la máquina.
- Use únicamente los accesorios emitidos por el fabricante.
- No exponga la maquina a temperaturas altas externas ni a ambientes con alta humedad.
- No instale el equipo sobre superficies poco firmes, inclinadas o con circulación de vibraciones.
- Evite recargarse sobre el equipo o depositar prendas de vestir u otros objetos.
- No sitúe objetos pesados sobre el equipo o accesorios lo cual podría causar deformación.
- No manipule las conexiones del sistema de tuberías, ni accesorios, ni incruste ningún objeto ajeno al equipo.
- No sitúe la maquina cerca de equipos que emitan chispas o calor externo como soldadoras o fraguas.
- Basado en condiciones normales de trabajo, el equipo alcanza temperaturas de 100°C. En esta etapa no se debe tocar las superficies del tanque contenedor, sistema de tubería, condensador y en algunas circunstancias el dispositivo quemador. Guíese por la Fig 1, para identificar dichas superficies.



Fig 1

## NUNCA DESENSAMBLE

No está permitido el desmontaje total o parcial de las piezas de este equipo para su reemplazo o modificación que no sea recomendada o supervisada por el fabricante. El desmontaje de este equipo implica riesgo de incendio, pérdida de hermeticidad y reducción de nivel de eficiencia de funcionamiento. Un ensamble de vuelta no garantiza que las características iniciales del equipo sean las mismas.

## CUIDADO DE SUPERFICIES

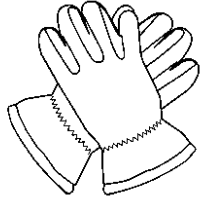
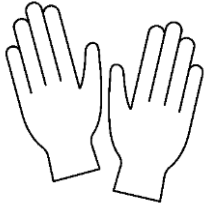

Con las recomendaciones descritas a continuación se busca alargar el tiempo de vida de los componentes de la máquina.

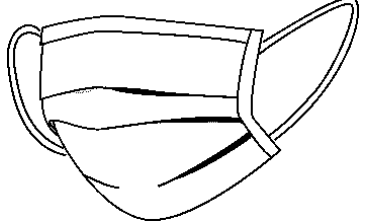

- Evítese el uso de disolventes químicos fuertes para la limpieza del equipo.
- No use trapos empapados de sustancias corrosivas o tóxicas, ni que poseen texturas abrasivas. Úsese un trapo humedecido únicamente.



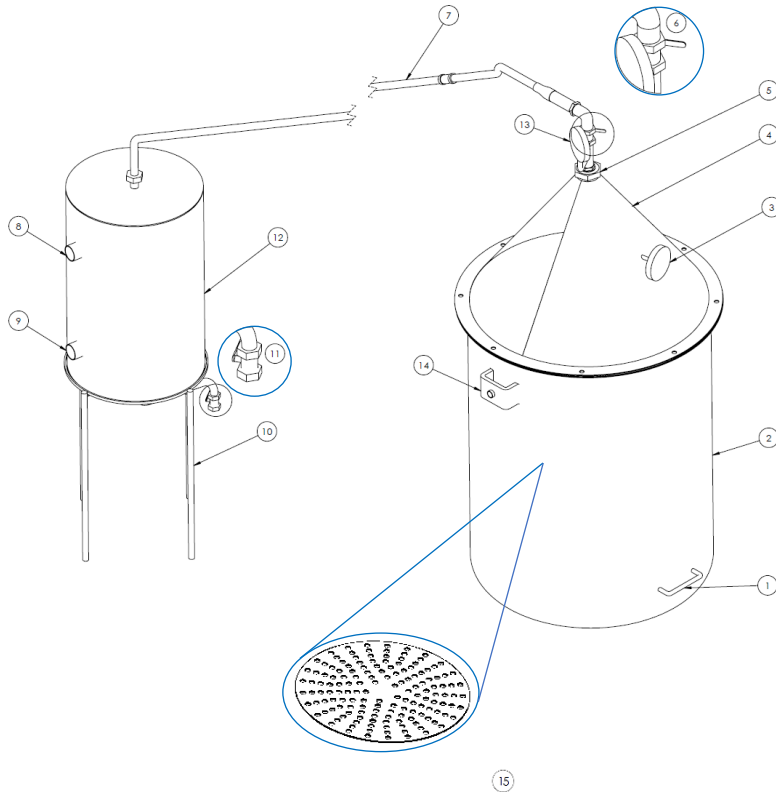
## EQUIPO DE PROTECCIÓN

Para la operación de la máquina se debe usar la siguiente protección para salvaguardar la integridad personal y la pureza del producto.

Guantes	-Tela con recubrimiento Manipulación de equipo	
	-Látex / nitrilo Manipulación de AE	
Mandil		

Mascarilla	
Botas	

## NOMBRE Y FUNCIÓN DE PARTES



**1. Manija de sujeción**

**2. Tanque**

**3. Termómetro**

Accesorio indicador del grado de temperatura a la cual se está ejecutando el proceso de extracción.

**4. Tapa**

**5. Acople roscado principal**

Accesorio que une la tapa con el sistema de tubería.

**6. Válvula de bola 1**

Accesorio que cancela la circulación del fluido por el sistema de tubería hasta que sea accionada.

**7. Tubería**

**8. Entrada de refrigerante**

**9. Salida de refrigerante**

**10. Patas de sujeción**

**11. Válvula de bola 2**

Accesorio que impide la salida del fluido contenido en el condensador.

**12. Condensador**

**13. Manómetro**

Accesorio indicador del valor de la presión a la cual se está ejecutando el proceso de extracción.

**14. Oreja de sujeción**

**15. Tapa agujerada**

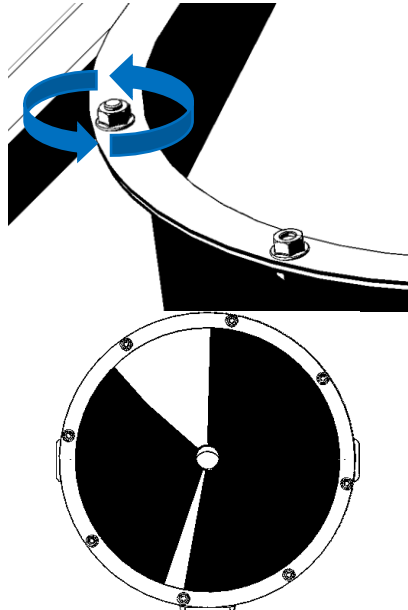
## MONTAJE

**1.** Ajuste el acople roscado principal (5) con la boca de la tapa (4).

## PUESTA EN MARCHA

### Carga de material vegetal (MV)

1. Agregue 12 litros de agua en el tanque contenedor.
2. Coloque la tapa agujerada (15) dentro del tanque contenedor.
3. Introduzca el material vegetal del cual se requiere realizar la extracción de su aceite esencial sobre la tapa con agujeros. Asegúrese que quede totalmente cubierta por el material vegetal.
4. Cierre la tapa con los 8 pernos incluidos con ayuda de un torquímetro (disponible en SaveWater) hasta los 39.85 lbf.in en cada uno.



### Encendido

1. Active la válvula en ON de la fuente de alimentación (GLP) para que se cargue de combustible.
2. Encienda el dispositivo quemador.
3. Regule la perilla de poder al 80% de su capacidad.

### Proceso

Inicia el proceso de calentamiento del agua hasta su punto de ebullición con lo cual rompe las moléculas de aceite de la planta para mezclarse en estado gaseoso. El proceso de calentamiento tiene una duración de 35 minutos, tiempo en el cual el indicador de presión (13) debe mostrar un valor de 45 psi. Una vez cumplida dicha condición se procede a activar en ON la válvula de bola (6) para dejar que la mezcla ingrese al sistema de tuberías hasta llegar al condensador (12).

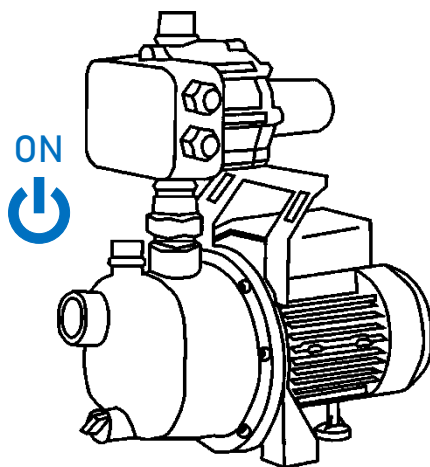


### Precaución

Una vez iniciado el proceso de extracción, es decir una vez cerrada la tapa y encendido el dispositivo quemador. El proceso no debe ser detenido debido a que interrumpe la correcta evaporación de las moléculas de aceite y reduciendo la eficiencia del proceso.

## Refrigerante

Minutos antes de activarse la válvula de bola 1 se debe activar la bomba de agua para que extraiga el agua que va a actuar como refrigerante para el condensador.



Con la bomba encendida y lista, activamos la válvula para dejar el paso libre del agua refrigerante al condensador. Esta acción hará que la mezcla caliente baje su temperatura hasta el punto de condensarse, dando como resultado dos fluidos diferentes (agua y aceite) separados por su diferencia de densidades.

## DESMONTAJE

### Precaución

Antes de empezar con el proceso de desmontaje es importante esperar 25 minutos, una vez transcurrido este tiempo es seguro realizar el proceso debido a que la temperatura ha descendido a niveles tolerables por la piel humana y la presión interna ha caído (0 psi).

1. Con una llave de tuercas número 1, aplicamos torque para el desajuste de los pernos alrededor de la tapa.
2. Desajustamos el acople roscado principal (5) con la boca de la tapa (4).

## LIMPIEZA

Antes de empezar con la limpieza, por seguridad se deben cerrar todas las válvulas del sistema de tubería (alimentación, presión, refrigerante) y apague la bomba de presión. La limpieza debe hacerse una vez que la máquina haya reducido su temperatura de funcionamiento a 25°C aproximadamente.

### Desecho de material vegetal (MV)

Una vez concluido el proceso de extracción del AE y realizado los pasos de DESMONTAJE, se procede a la eliminación de los residuos del material vegetal (MV) mediante el mecanismo de remisión que se ve en la Fig 2.

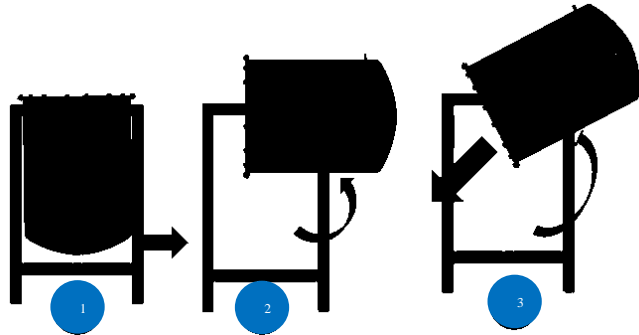


Fig 2

## APAGADO

Realizado todos los pasos anteriores y considerando que no se van a realizar más procesos de extracción. El equipo ya se encuentra apagado.

**NOTA**

logran escuchar ruidos de fuga de agua u olores de fuga de gas, revise nuevamente que las válvulas estén completamente cerradas. Puede que se haya podido obviar un paso o su cierre no fue completo.

## ESPECIFICACIONES

El diseño y las características del equipo están sujetos a cambios futuros por parte de actualizaciones.

### MÁQUINA EXTRACTORA DE ACEITES ESENCIALES (AE)

Material de construcción	Acero inoxidable, serie 300. AISI 304	
Norma de fabricación	ASME Sección VIII, División 1, 2019 ISO 592	
Material vegetal (MV)	Eucalipto Romero Mental Lavanda	
Capacidad (MV)	5 kg / 11 lb	
Refrigerante	Agua	
Temperatura	Optima de trabajo	100 °C / 212 °F
	Max.	110 °C / 230 °F
Presión	Optima de trabajo	45 psi. / 310 kPa

	Max.	50 psi. / 345 kPa
Fuente de calor		Gas propano (GLP). C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Consumo por proceso		7067.35 kcal/h. / 8218 Watts
Dimensiones	Largo	3.065 m / 120.66 in
	Ancho	0.57 m / 22.44 in
	Altura	1.665 m / 65.55 in
Peso		Aprox, 205 kg / 451.95 lb

Sitio web oficial de Universidad Técnica de Ambato

<https://uta.edu.ec/v4.0/>

Sitio web oficial de FICM

<https://ficm.uta.edu.ec/v4.0/>

Sitio web oficial de Ingeniería Mecánica

<https://ficm.uta.edu.ec/v4.0/index.php/carreras-y-programas/ingenieria-mecanica>

Sitio web oficial de SaveWater

<https://www.facebook.com/savewater.ec>

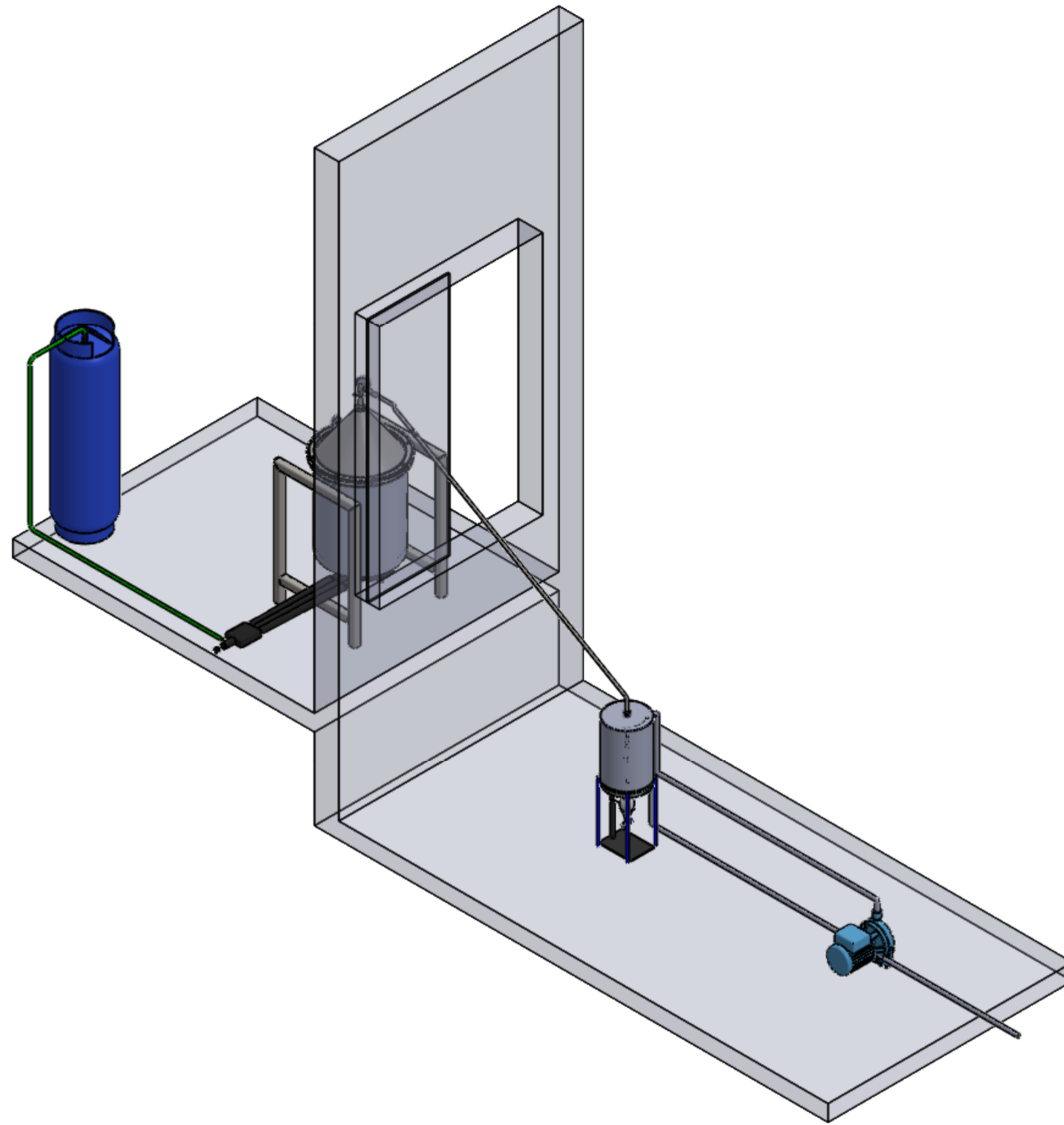




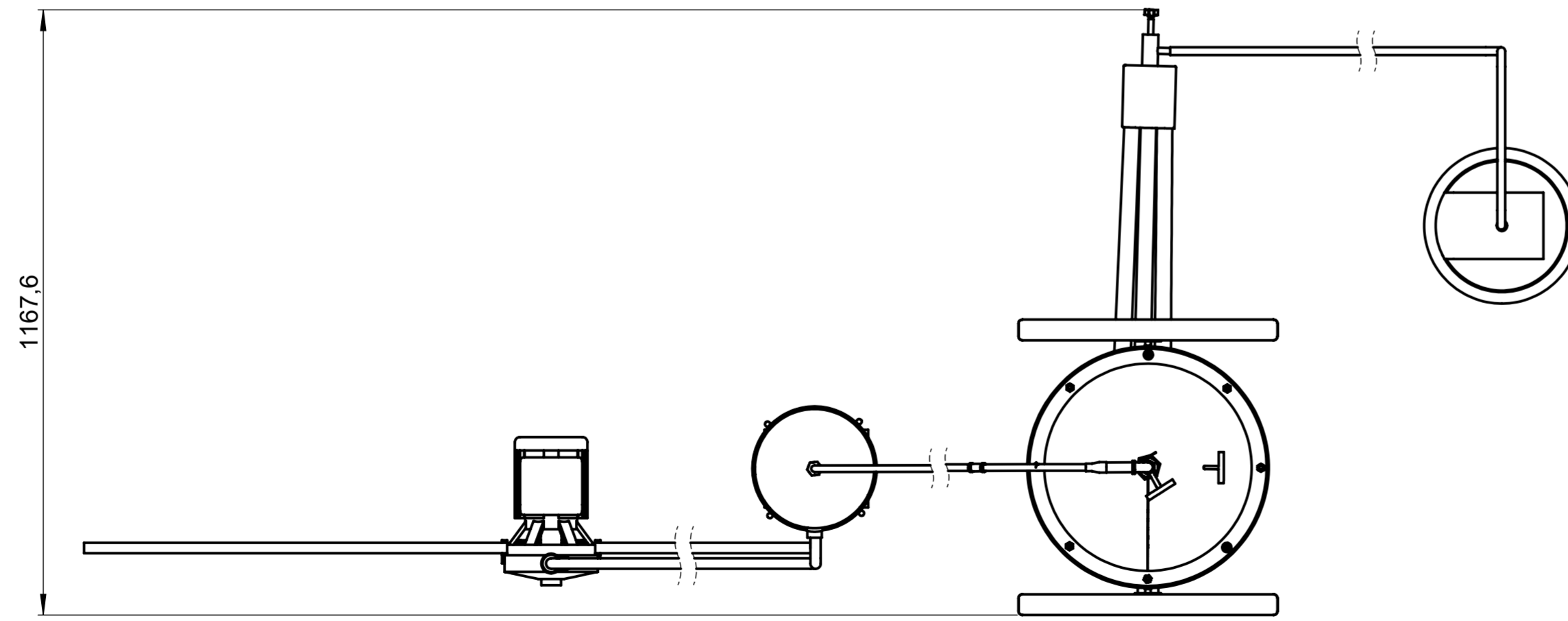
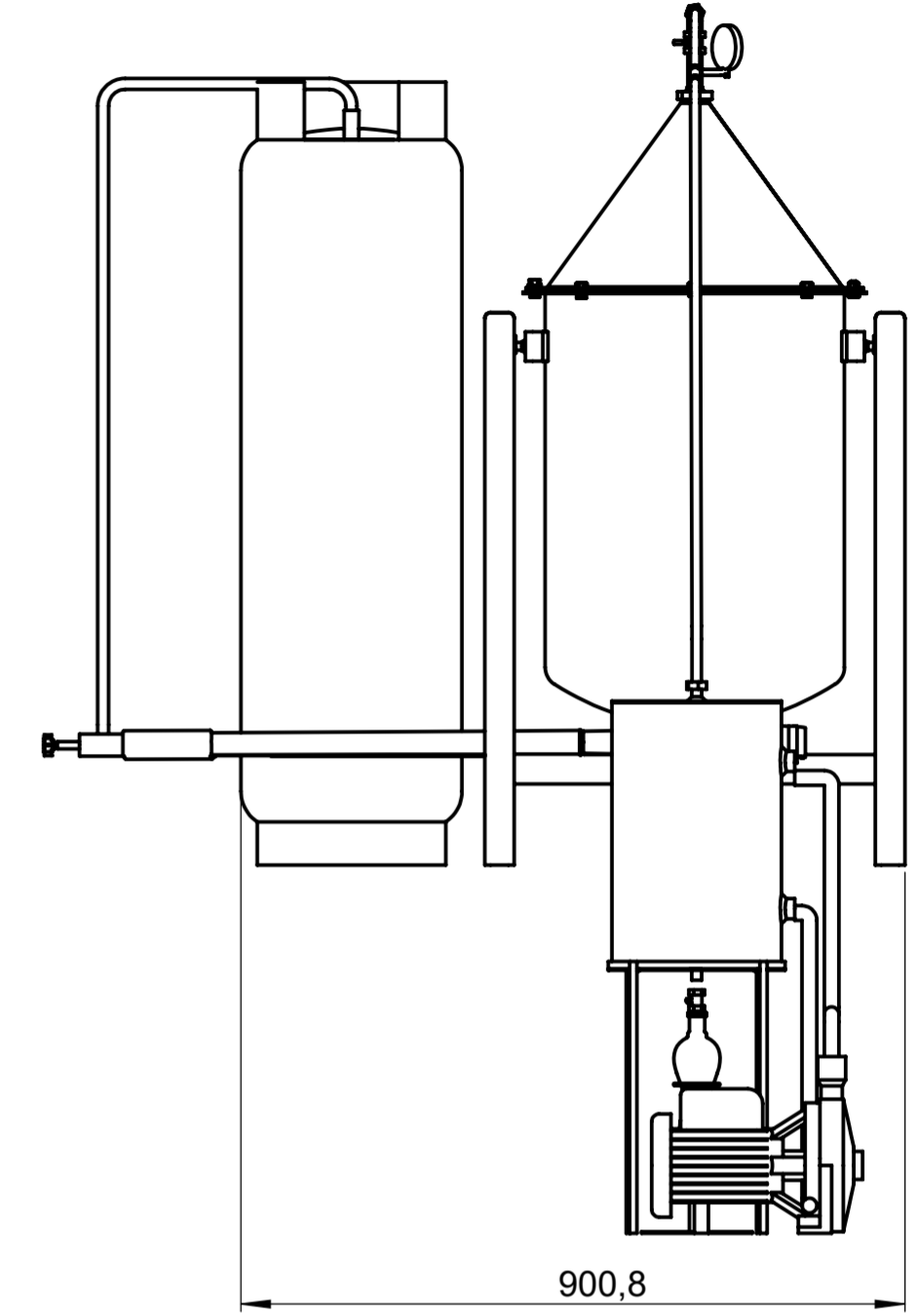
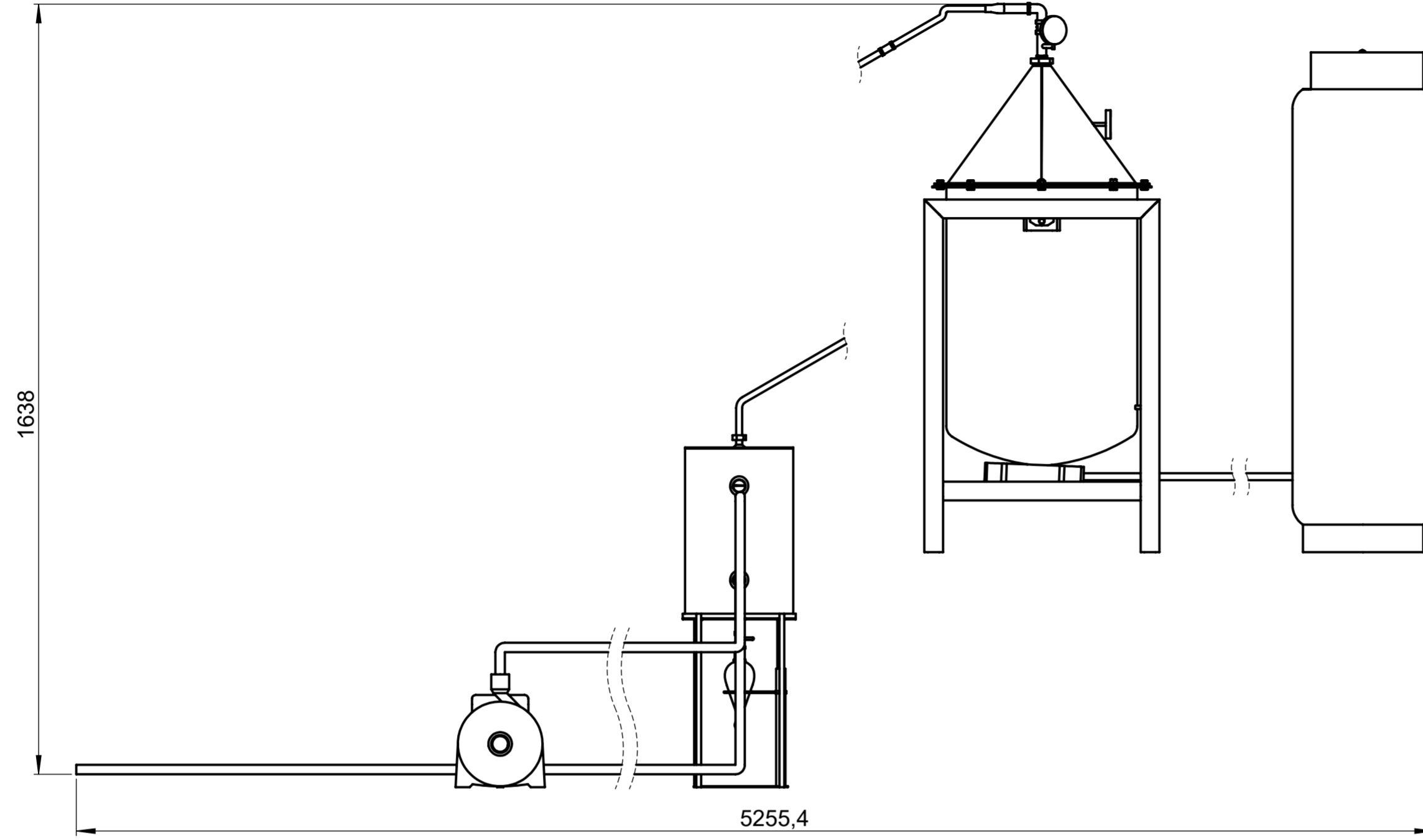




# PLANOS

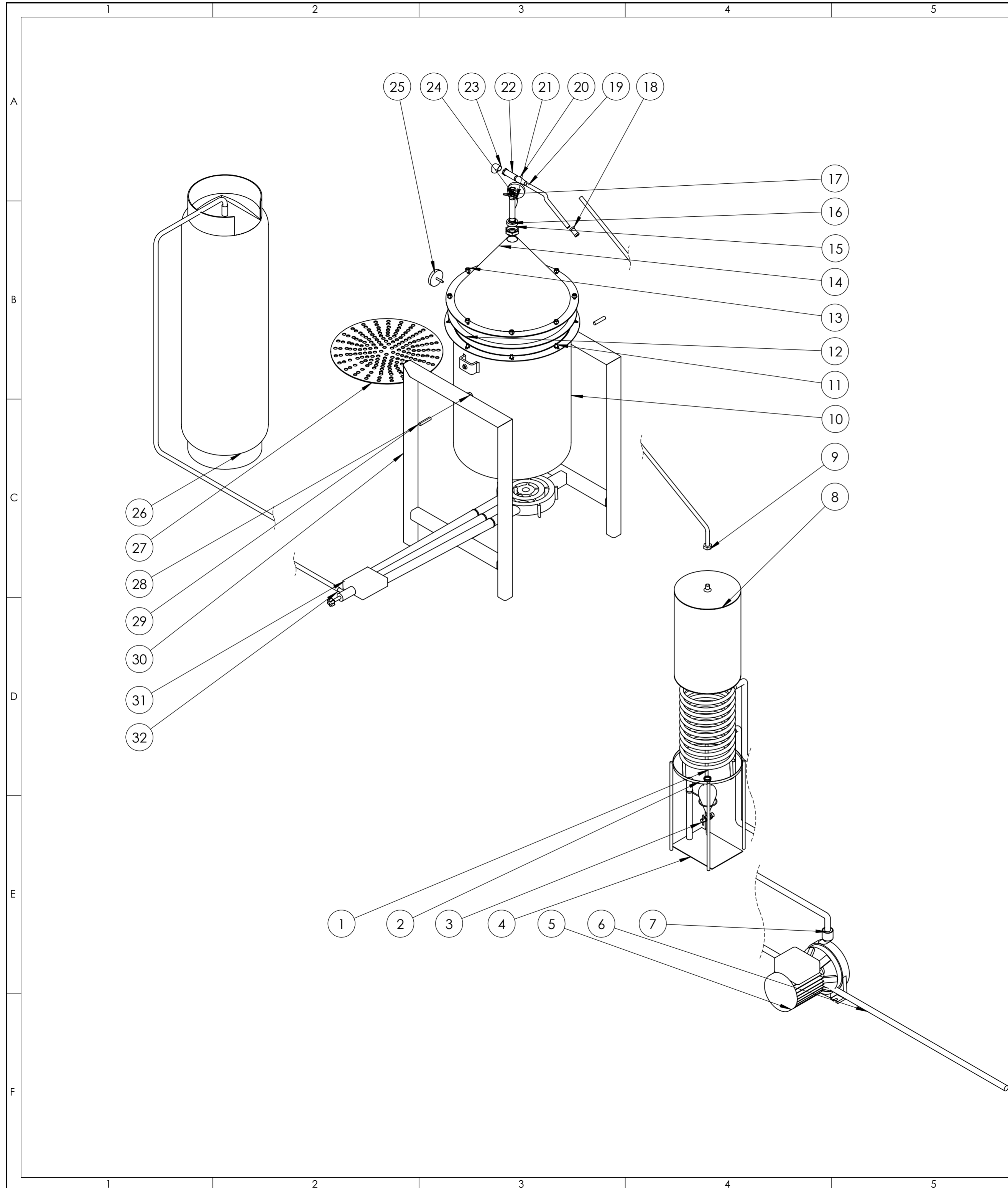


				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				± 1	1374.9 Kg	Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				DIBUJO: 05/04/2022	Autores	Extractora de aceites esenciales	1:20
				REVISÓ: 12/04/2022	Ing. O. Analuiza		
				APROBÓ: 25/7/2022	Ing. O. Analuiza		
				U.T.A.		Número de lámina:	Registro:
				INGENIERÍA MECÁNICA		1 De 12	☐ ⊕
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



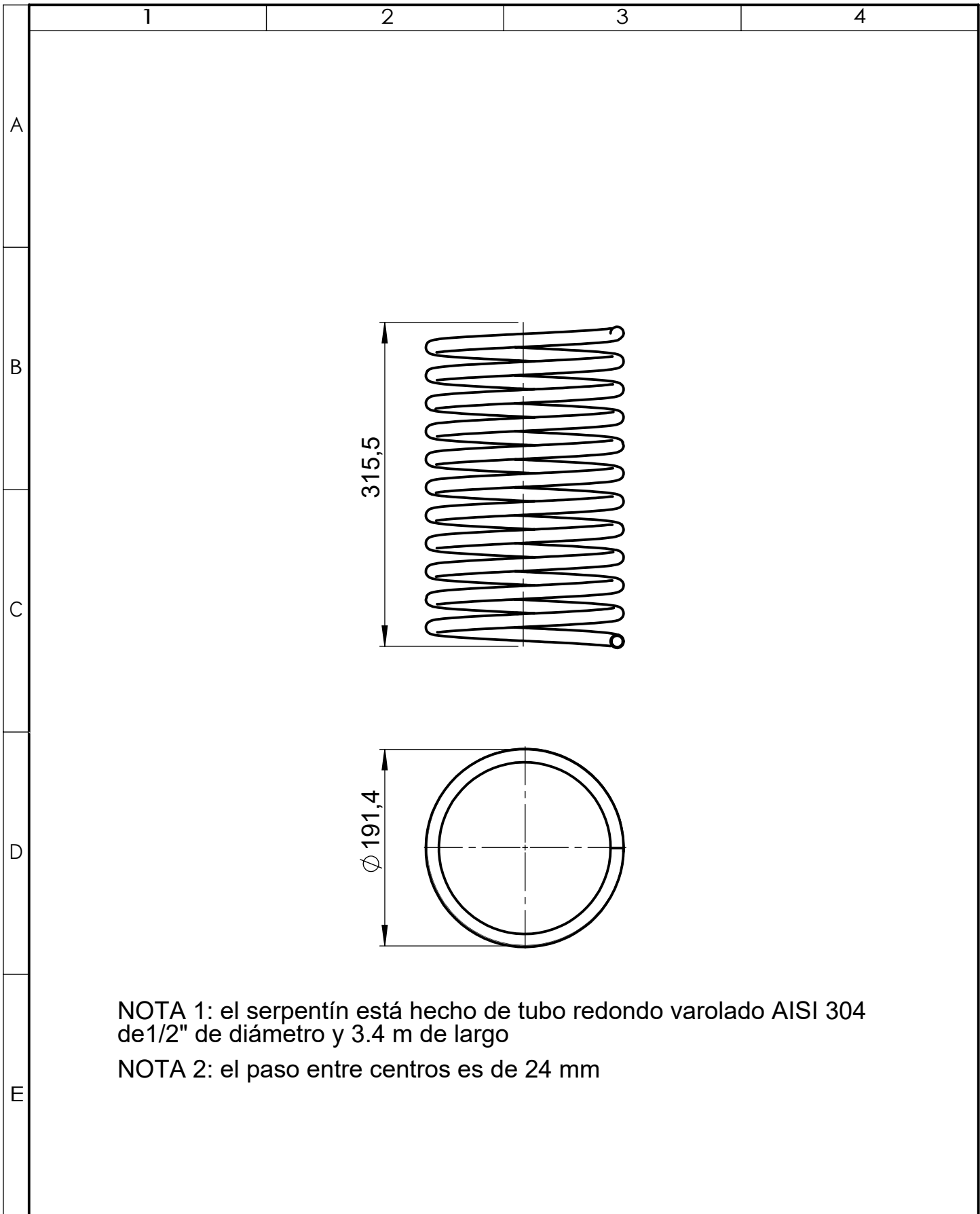
				Tolerancia: ± 1	Peso: 1374.9 Kg	Material: Varios	
							Fecha Nombre
							DIBUJO: 05/04/2022 Autores
							REVISÓ: 12/04/2022 Ing. O. Analuiza
							APROBO: 25/7/2022 Ing. O. Analuiza
							U.T.A.
							Denominación: Extractora de aceites esenciales
							Número de lámina: 2 De 12
							Registro: INGENIERÍA MECÁNICA
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)



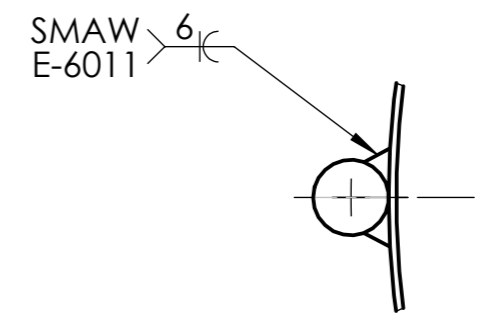
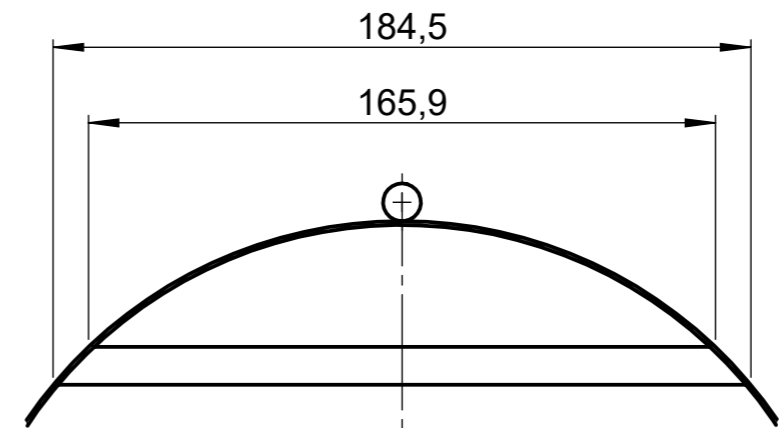
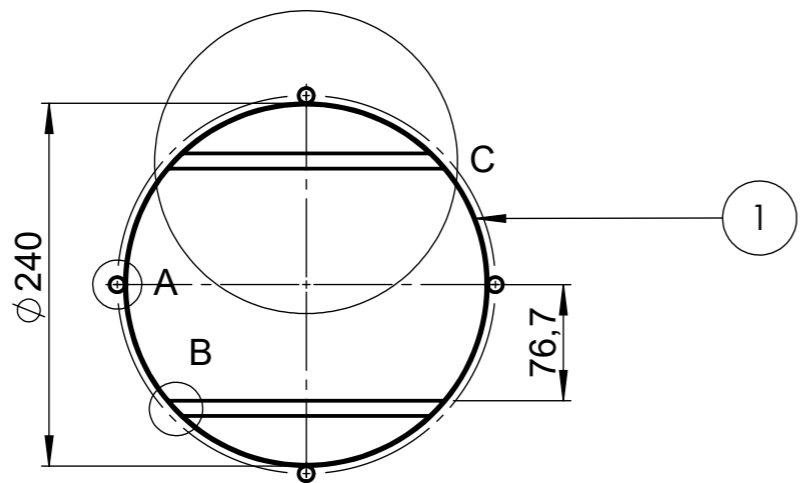
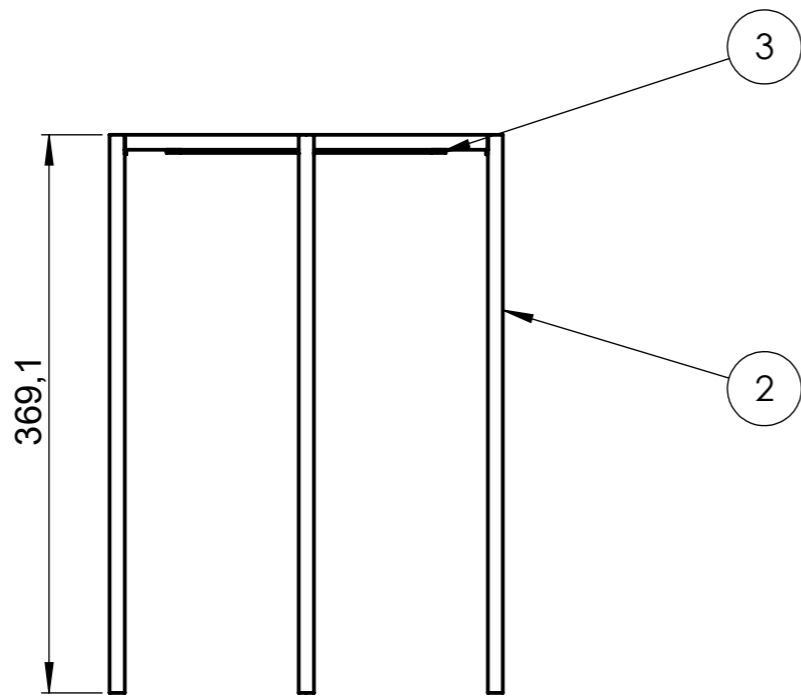


34	Quemador	-	varios	34	-	-	Adquirido
33	Válvula 1-2 -11	-	Acero Inoxidable	33	-	-	Adquirido
32	Manguera3	-	Caucho	32	-	-	Adquirido
31	Acople curvo 304-10	-	Acero Inoxidable	31	-	-	Adquirido
30	Estructura	-	AISI 304	30	11	22.17	Construido
29	Eje de apoyo	-	AISI 304	29	10	0.035	Construido
28	Tuerca de presión M12	-	Acero Inoxidable	28	-	-	Adquirido
27	Tapa agujeros	-	AISI 304	27	9	2.367	Construido
26	Tanque de gas	-	Varios	26	-	-	Adquirido
25	Termometro	-	Varios	25	-	-	Adquirido
24	Tubo roscado extremos-3	-	Acero Inoxidable	24	-	-	Adquirido
23	Tubo 90°-5	-	Acero Inoxidable	23	-	-	Adquirido
22	Acople304-6	-	Acero Inoxidable	22	-	-	Adquirido
21	Manometro	-	Varios	21	-	-	Adquirido
20	Reductor de diámetro-7	-	Acero Inoxidable	20	-	-	Adquirido
19	Acople curvo-8	-	Acero Inoxidable	19	-	-	Adquirido
18	Acople entre tubos 304-9	-	Acero inoxidable	18	-	-	Adquirido
17	Válvula -4	-	Varios	17	-	-	Adquirido
16	Acople 304-2	-	Acero Inoxidable	16	-	-	Adquirido
15	Acople 304-1	-	Acero Inoxidable	15	-	-	Adquirido
14	Tapa Cónica	-	AISI 304	14	8	3.490	Construido
13	Tuerca de presión M8	-	SAE GRADO 2	13	-	-	Adquirido
12	Empaque de caucho	-	Caucho	12	-	-	Adquirido
11	Perno M8x1.25	-	SAE GRADO 2	11	-	-	Adquirido
10	Tanque	-	AISI 304	10	7	19.45	Construido
9	Tubo 304 largo-8	-	Acero inoxidable	9	-	-	Adquirido
8	Carcaza serpentín	-	AISI 304	8	6	0.676	Construido
7	MAGERA 1	-	Caucho	7	-	-	Adquirido
6	MAGUERA 2	-	Caucho	6	-	-	Adquirido
5	Bomba CPM158	-	Varios	5	-	-	Adquirido
4	Soporte embudo	-	Varios	4	-	-	Adquirido
3	Embudo separador	-	Varios	3	-	-	Adquirido
2	Soporte intercambiador de calor	-	Varios	2	5	0.129	Construido
1	Serpentín	-	AISI 304	1	4	0.186	Construido
N° de orden	Denominación	N° de norma	Material	/N.º pieza	No. del Modelo	Peso (Kg)	Observaciones

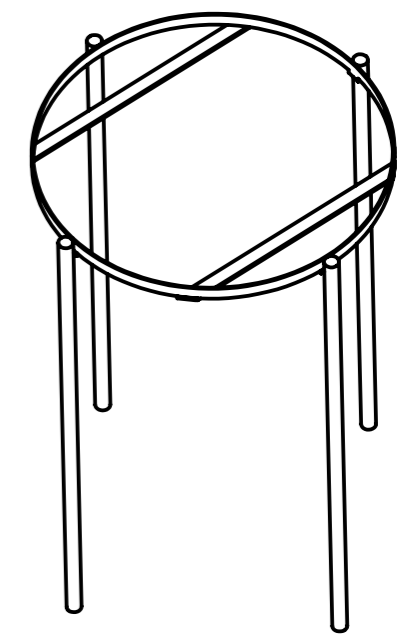
			Tolerancia: ±1	Peso: 1374.9 Kg	Material: Varios		
			Fecha: 05/04/2022	Nombre: Autores	Denominación: Extractora de aceites esenciales		Escala: 1:10
			REVISÓ: 12/04/2022	Ing. O. Analuiza			
			APROBO: 25/7/2022	Ing. O. Analuiza			
			U.T.A.	Número de lámina: 3 De 12			Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA	(Sustitución)		



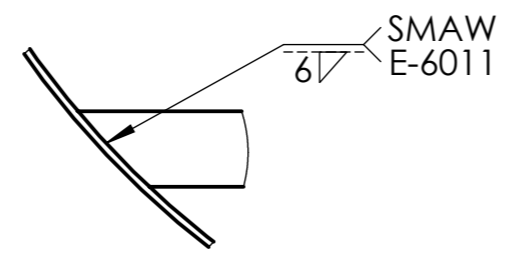
				Tolerancia:	Peso:	Material:			
				± 0.1	0.186 Kg	AISI 304			
					Fecha	Nombre	Denominación:  Serpentín		Escala:
				DIBUJÓ:	05/04/2022	Autores			1:5
				REVISÓ:	12/04/2022	Ing. O. Anluiza			
				APROBÓ:	25/7/2022	Ing. O. Anluiza	Número de lámina:  4 De 12		Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA					(Sustitución)



DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

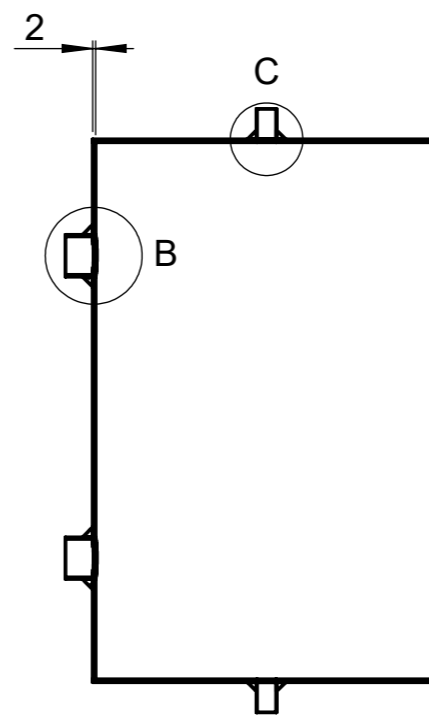
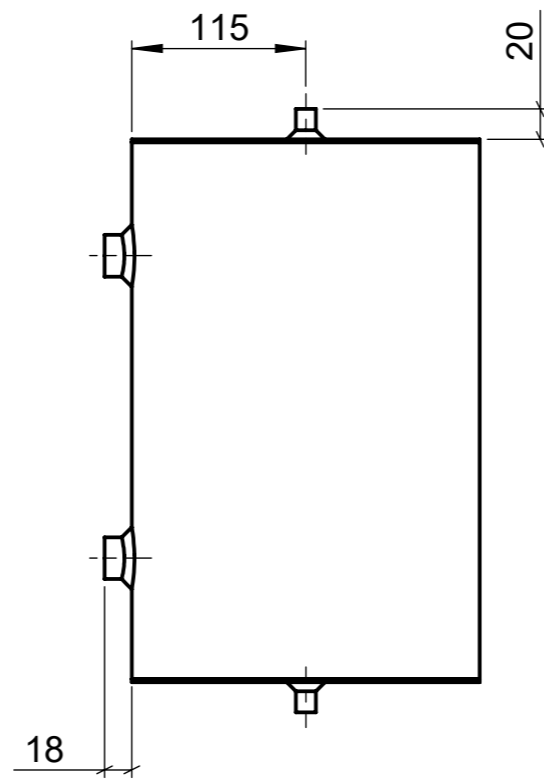
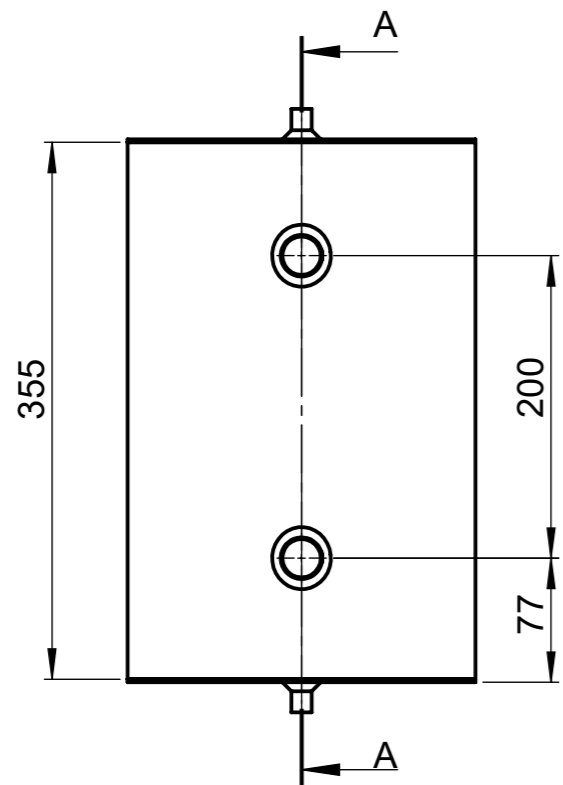


DETALLE C  
ESCALA 1 : 2

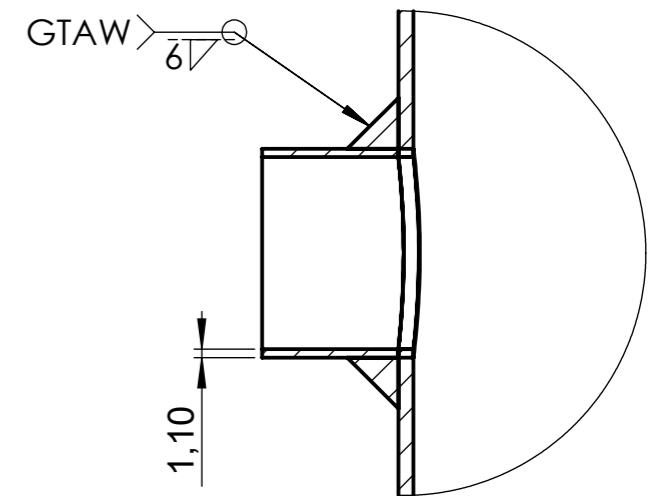


DETALLE B  
ESCALA 1 : 1

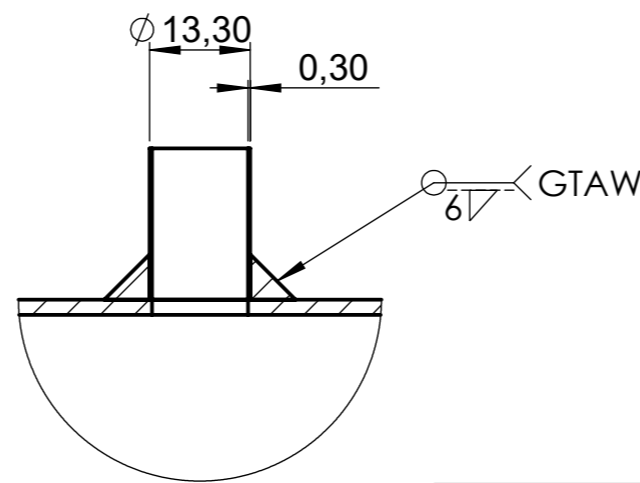
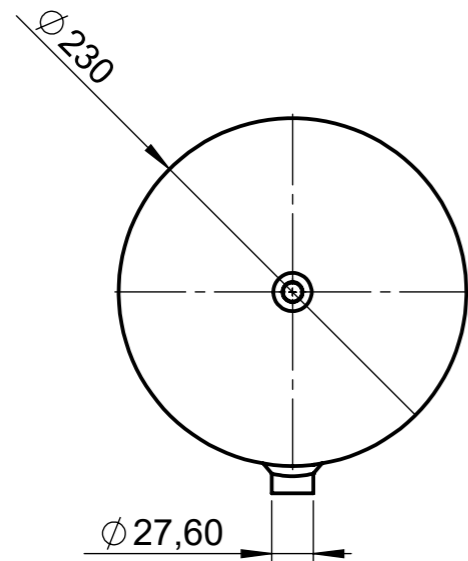
/N.º pieza	Denominación	N.º de norma	Material	N.º de orden	No. del Modelo	Peso Kg	Observaciones
3	Soporte base intercambiador	-	Platina 10x2mm	3	-	-	Adquirido
2	Patas soporte	-	Varilla redonda Ø 10mm	2	-	-	Adquirido
1	Base perímetro	-	Platina 10x2mm	1	-	-	Adquirido
			Tolerancia: ±0.1	Peso: 0.131 Kg	Material: Varios		
			Fecha: 05/04/2022	Nombre: Autores	Denominación: Soporte intercambiador		Escala: 1:5
			REVISÓ: 12/04/2022	Ing. O. Analuiza			
			APROBÓ: 25/7/2022	Ing. O. Analuiza			
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA				N.º de Lámina: 5 De 12		Registro:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			



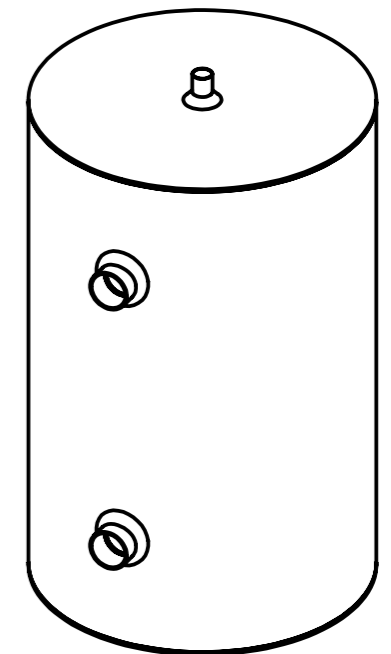
SECCIÓN A-A



DETALLE B  
ESCALA 1 : 1

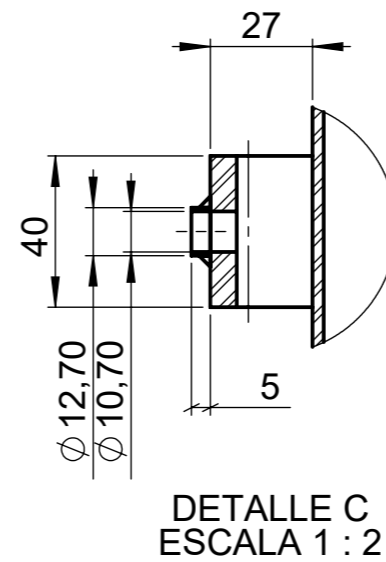
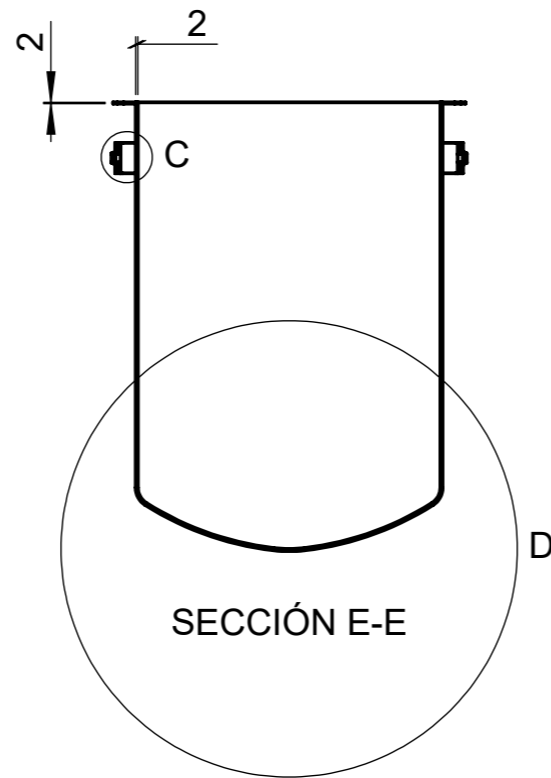
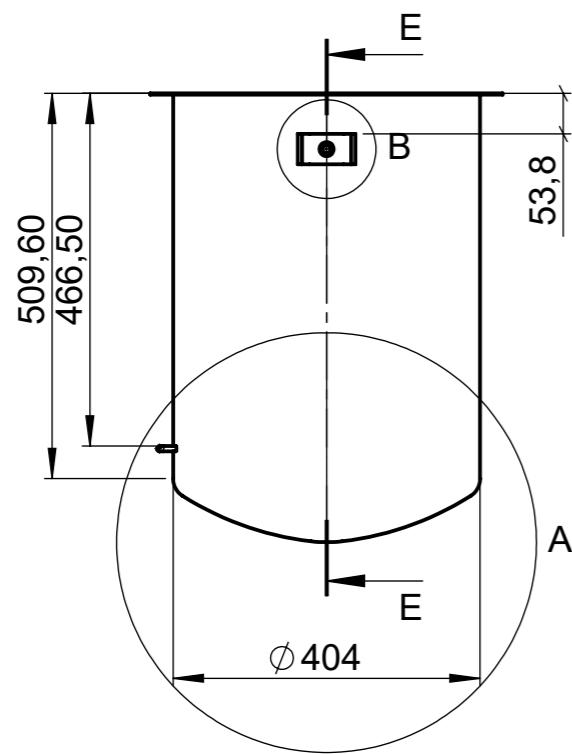


DETALLE C  
ESCALA 1 : 1

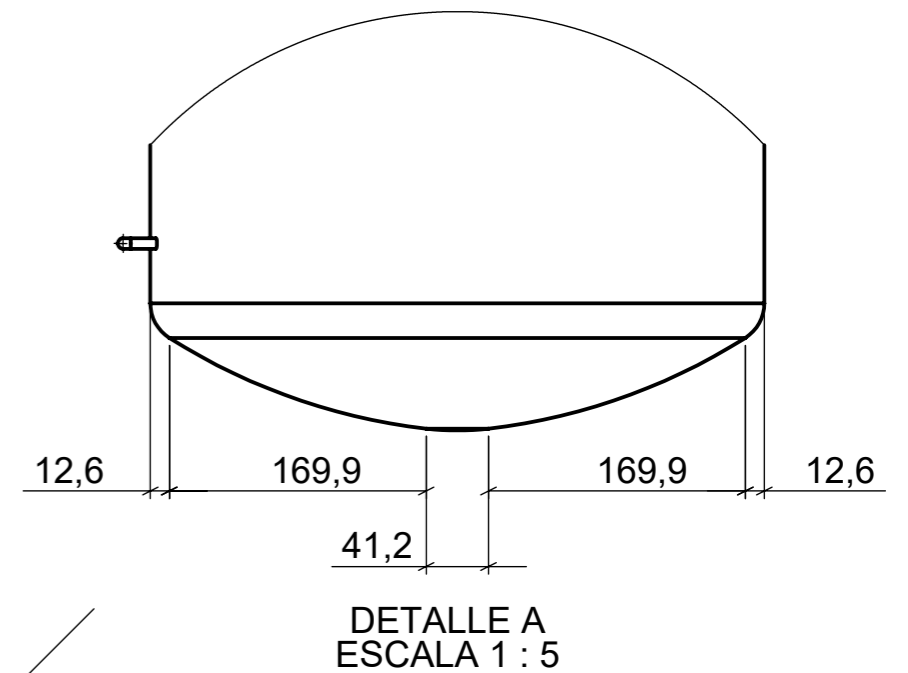


				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				±0.1	0.683 Kg	AISI 304		
				Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
				DIBUJÓ: 5/04/2022	Autores	Carcasa intercambiador		1:5
				REVISÓ: 12/04/22	Ing. Oscar Analuiza			
				APROBÓ: 25/7/2022	Ing. Oscar Analuiza			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º de Lámina:	Registro:	
						6 De 12		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

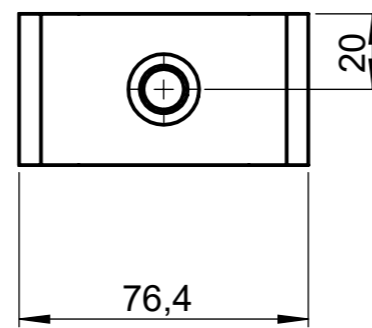
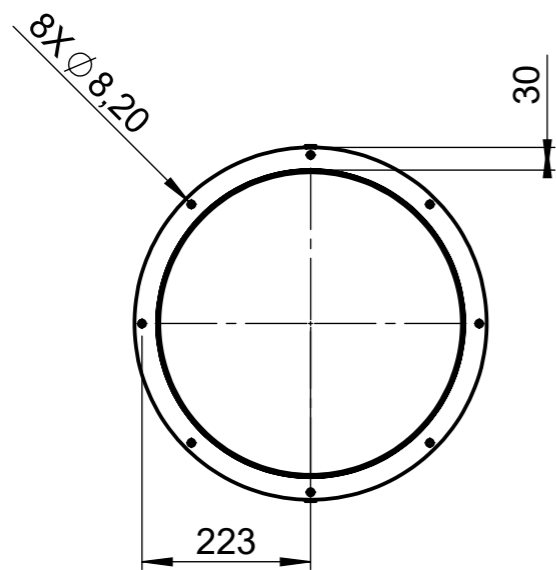




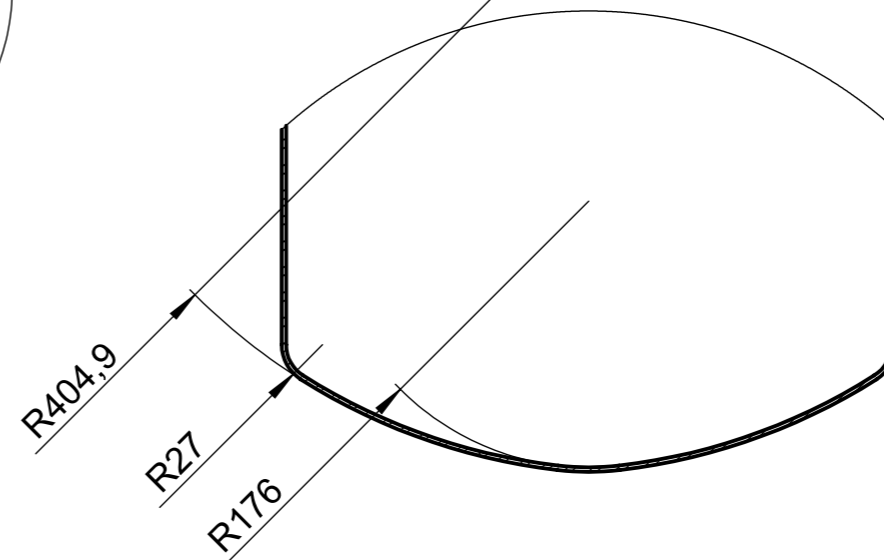
DETALLE C  
ESCALA 1 : 2



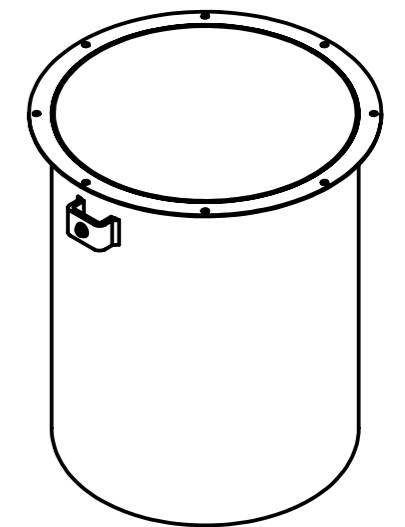
DETALLE A  
ESCALA 1 : 5



DETALLE B  
ESCALA 1 : 2

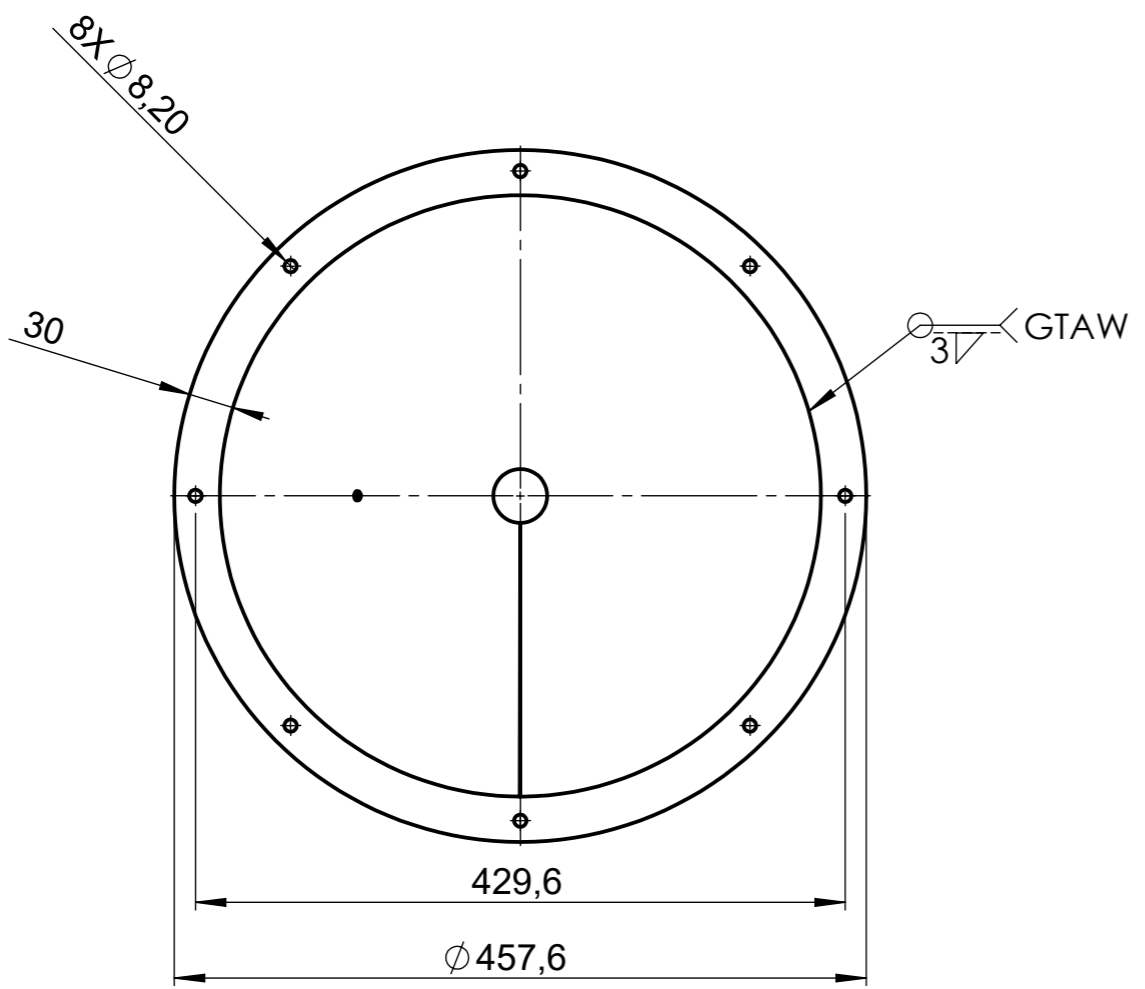
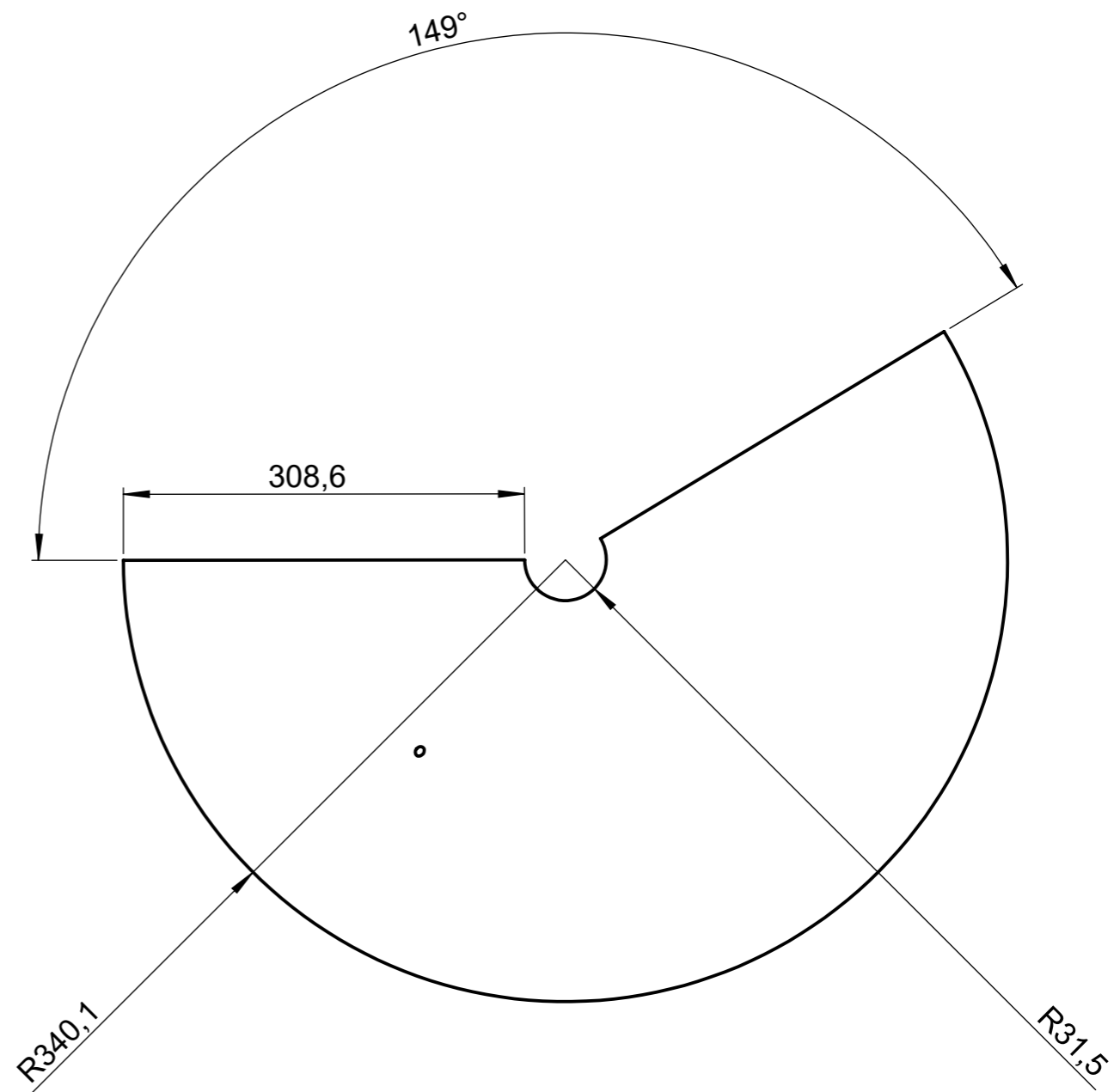
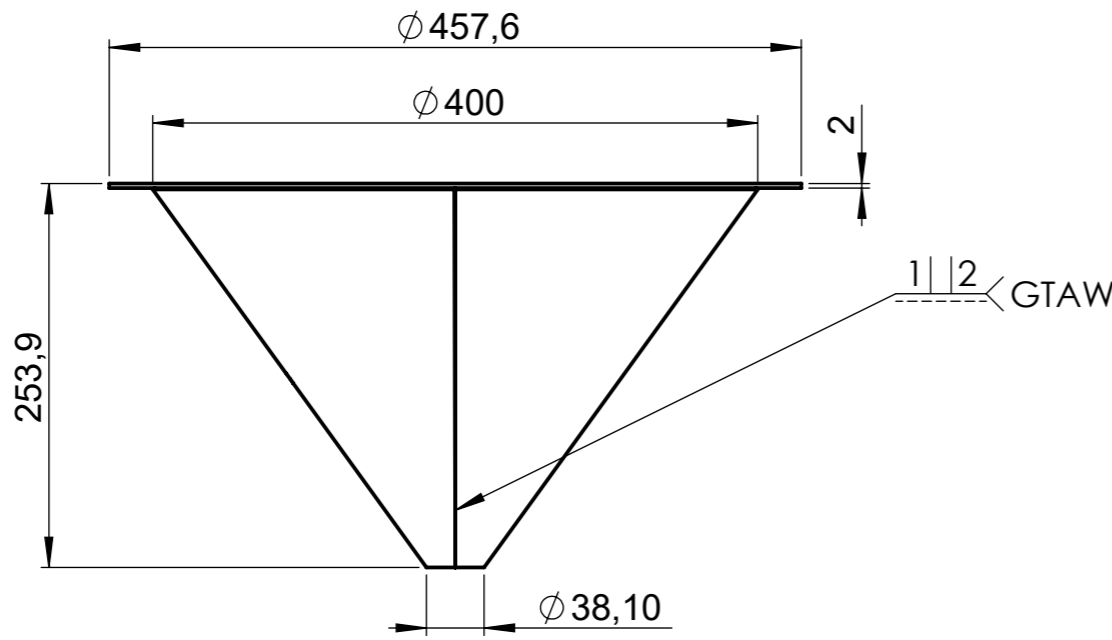


DETALLE D  
ESCALA 1 : 5



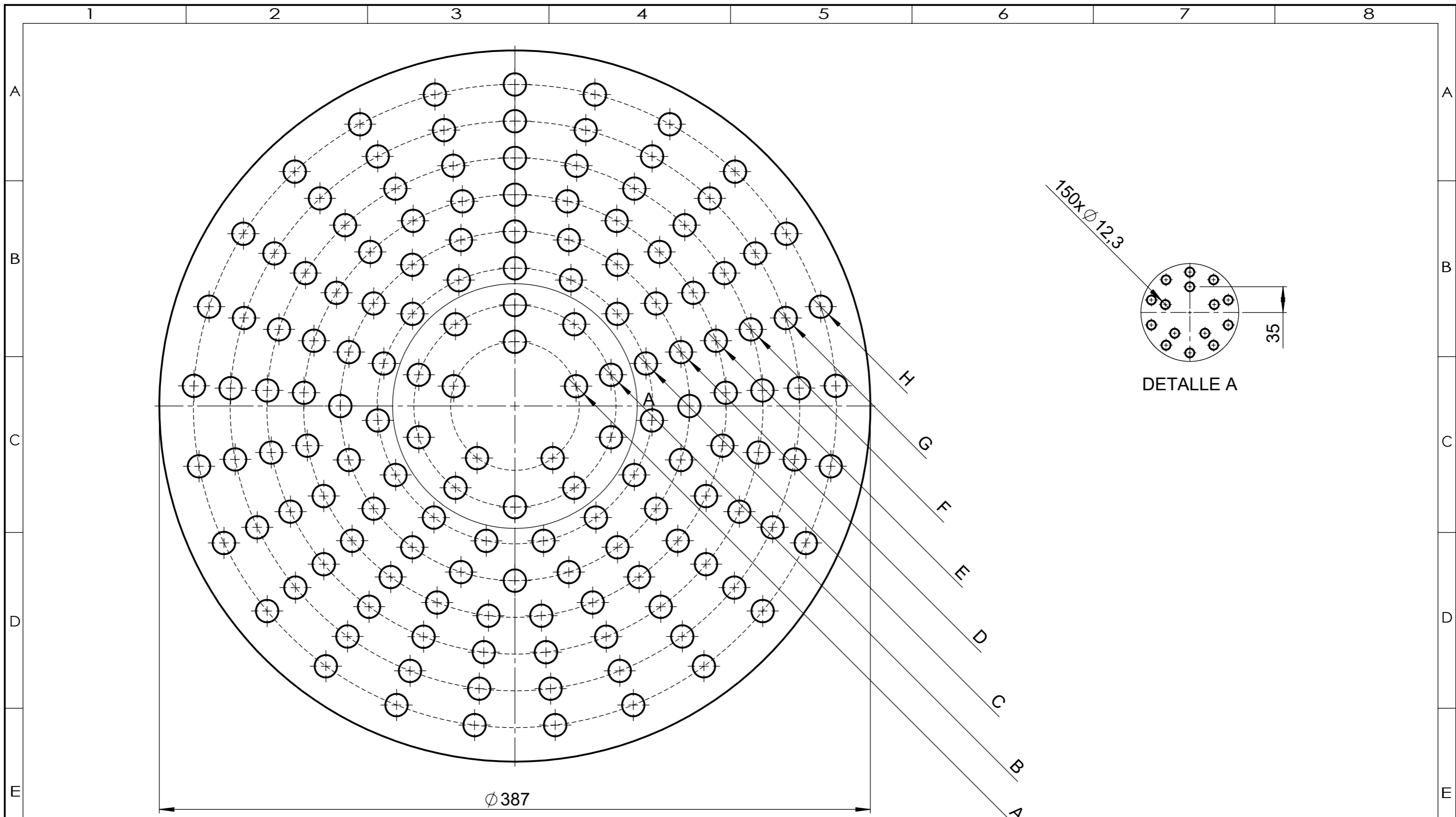
NOTA1: La separación entre agujeros es de 45°

				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				±0.1	19.4 Kg	AISI 304		
				Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
				DIBUJO: 5/04/2022	Autores	Cilindro a presión		1:10
				REVISO: 12/04/2022	Ing. O. Analuiza			
				APROBÓ: 18/06/2017	Ing. O. Analuiza			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º de Lámina:	Registro:	
						7 De 12		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



NOTA1: El cono es chapa metálica de 2 mm de espesor  
 NOTA2: La separación entre agujeros es de 45°

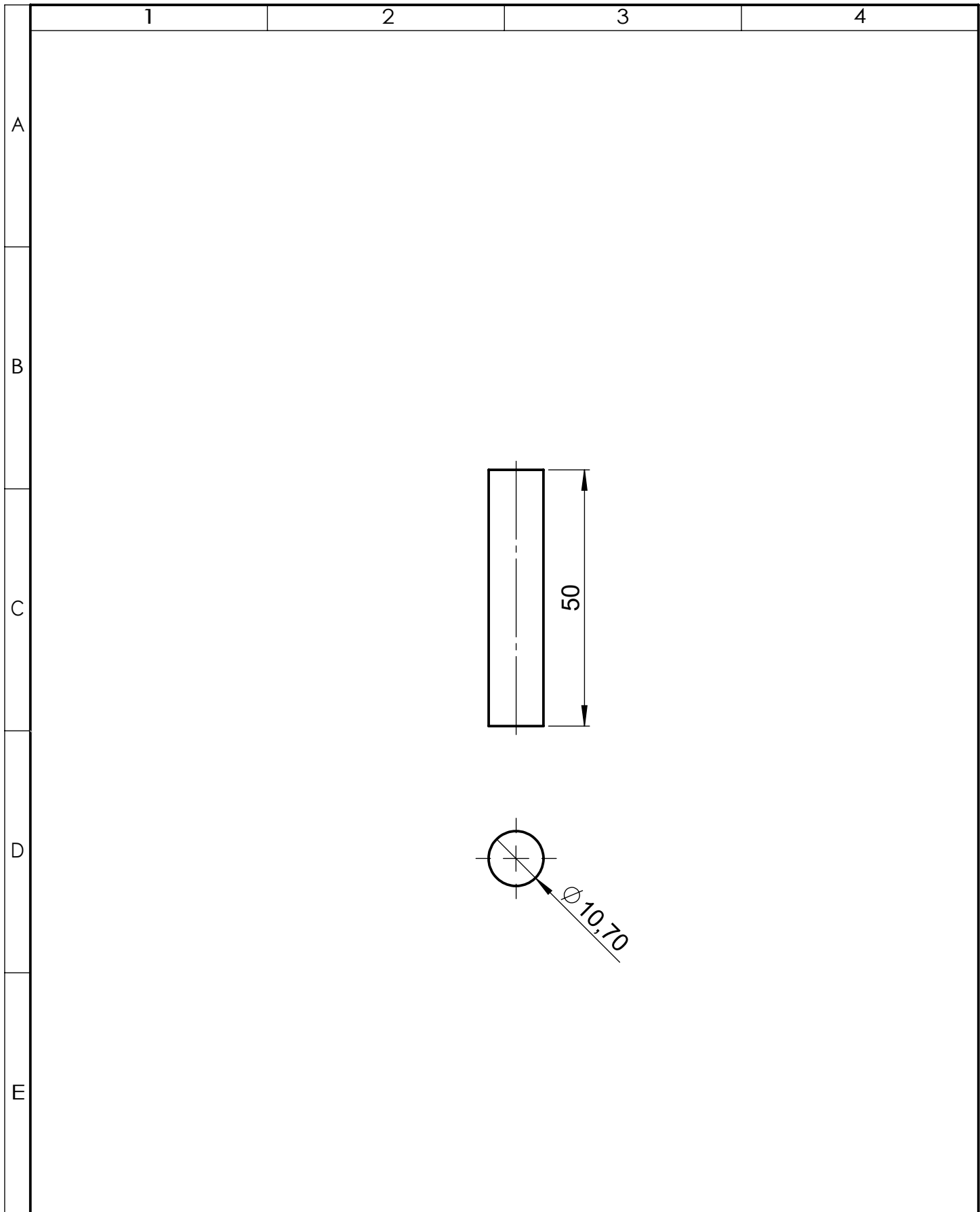
				Tolerancia:	Peso:	Material:			
				±0.1	3.49 Kg	AISI 304			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
				DIBUJÓ: 5/04/2022	Autores			Cabeza Cónica	1:5
				REVISÓ: 12/04/22	Ing. Oscar Analuiza				
				APROBÓ: 25/7/2022	Ing. Oscar Analuiza	N.º de Lámina:	Registro:		
				U.T.A.				8 De 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)			



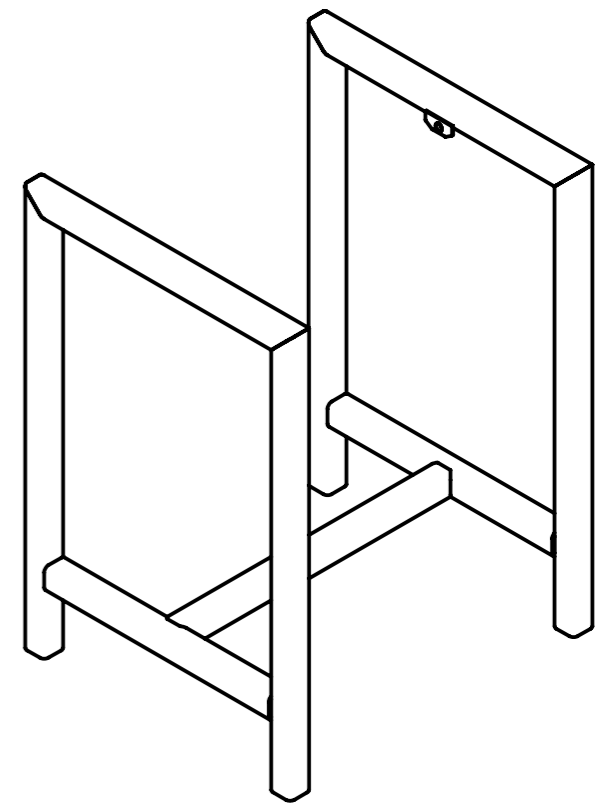
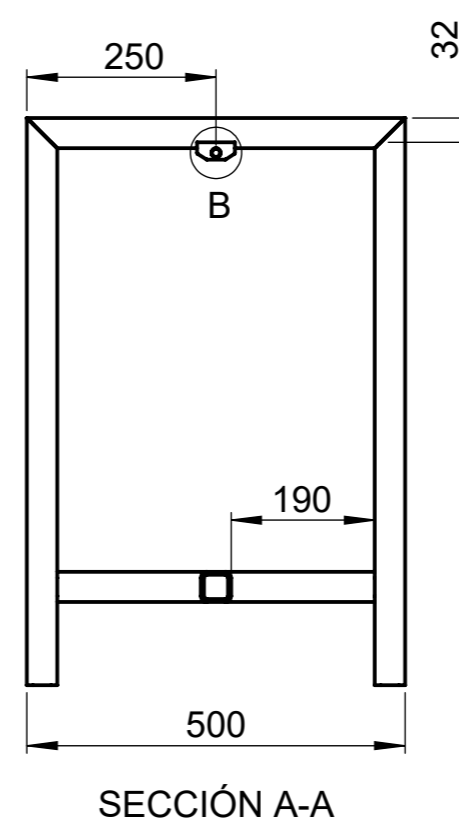
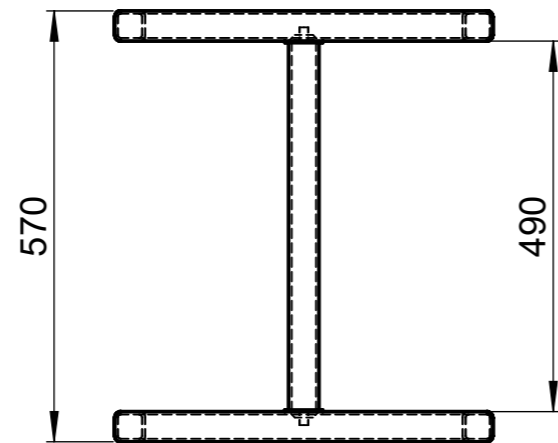
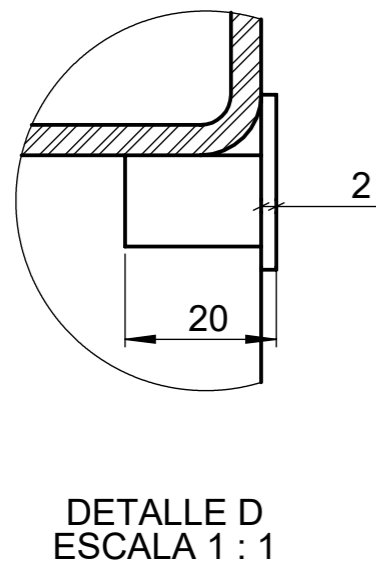
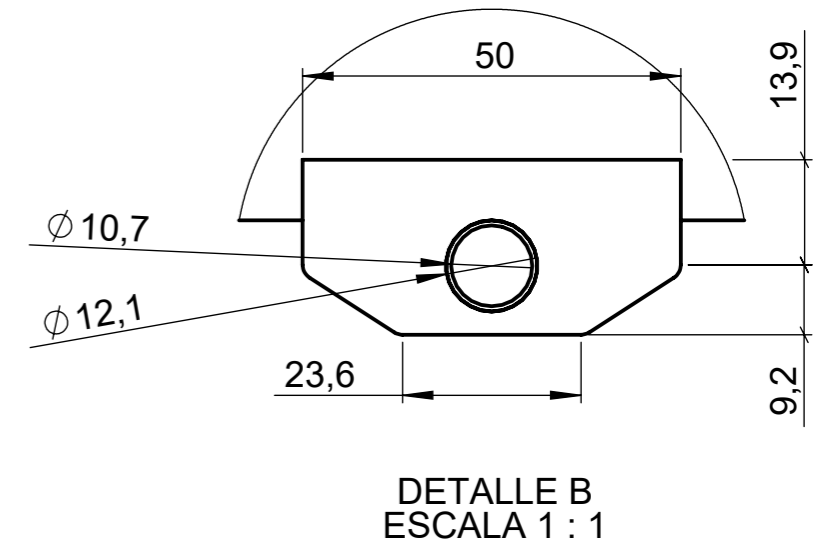
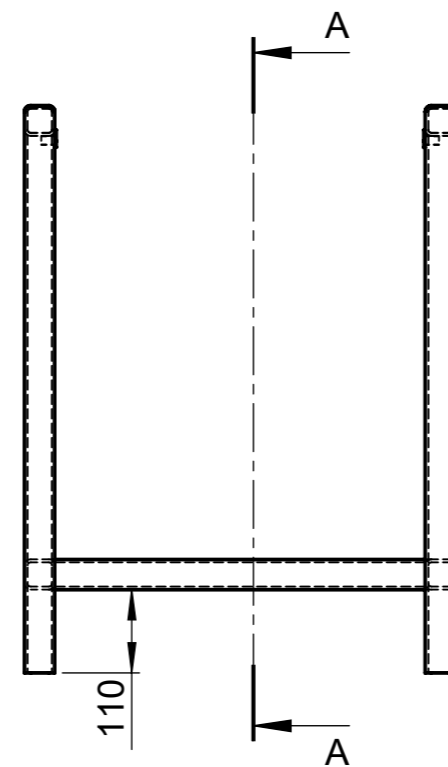
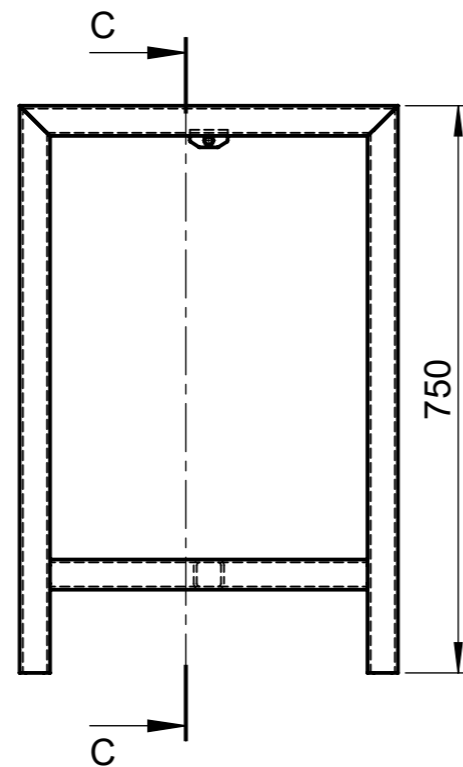
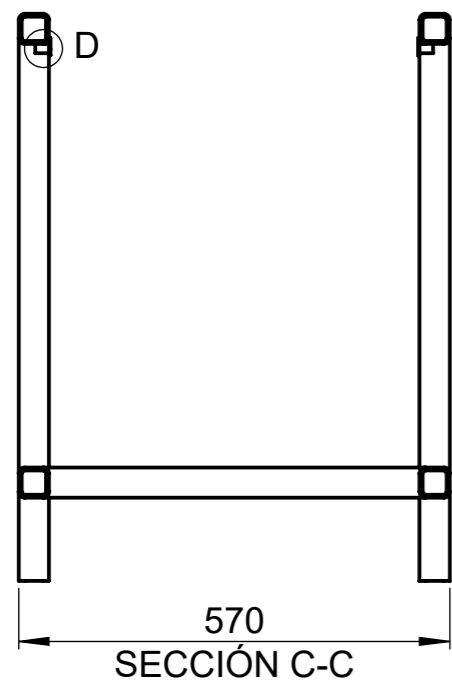
- A=5x  $\varnothing$  12.25
- B=10x  $\varnothing$  12.25
- C=15x  $\varnothing$  12.25
- D=20x  $\varnothing$  12.25
- E=25x  $\varnothing$  12.25
- F=25x  $\varnothing$  12.25
- G=25x  $\varnothing$  12.25
- H=25x  $\varnothing$  12.25

NOTA1: Cada matriz circular de agujeros tiene una separación angular igual entre si  
 NOTA2: El espesor de la tapa agujerada es de 2 mm

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0.1	0.683 Kg	ASIS 304	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				DIBUJÓ:	5/04/2022	Autores	Tapa Agujerada
				REVISÓ:	12/04/22	Ing. Oscar Analuiza	
				APROBÓ:	25/7/2022	Ing. Oscar Analuiza	
				U.T.A.		N.º de Lámina:	Registro:
				INGENIERÍA MECÁNICA		9 De 12	1:5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

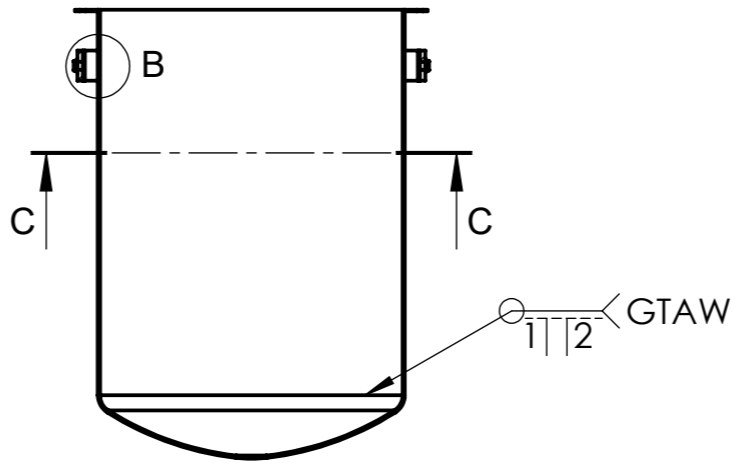
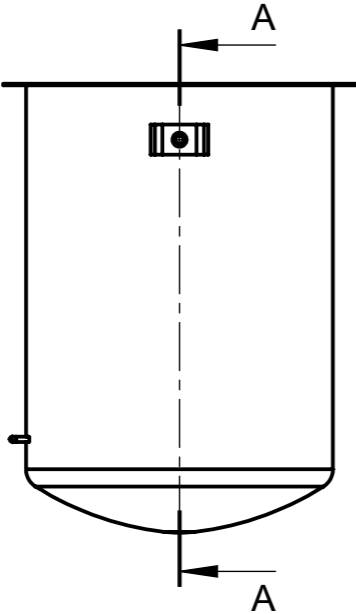
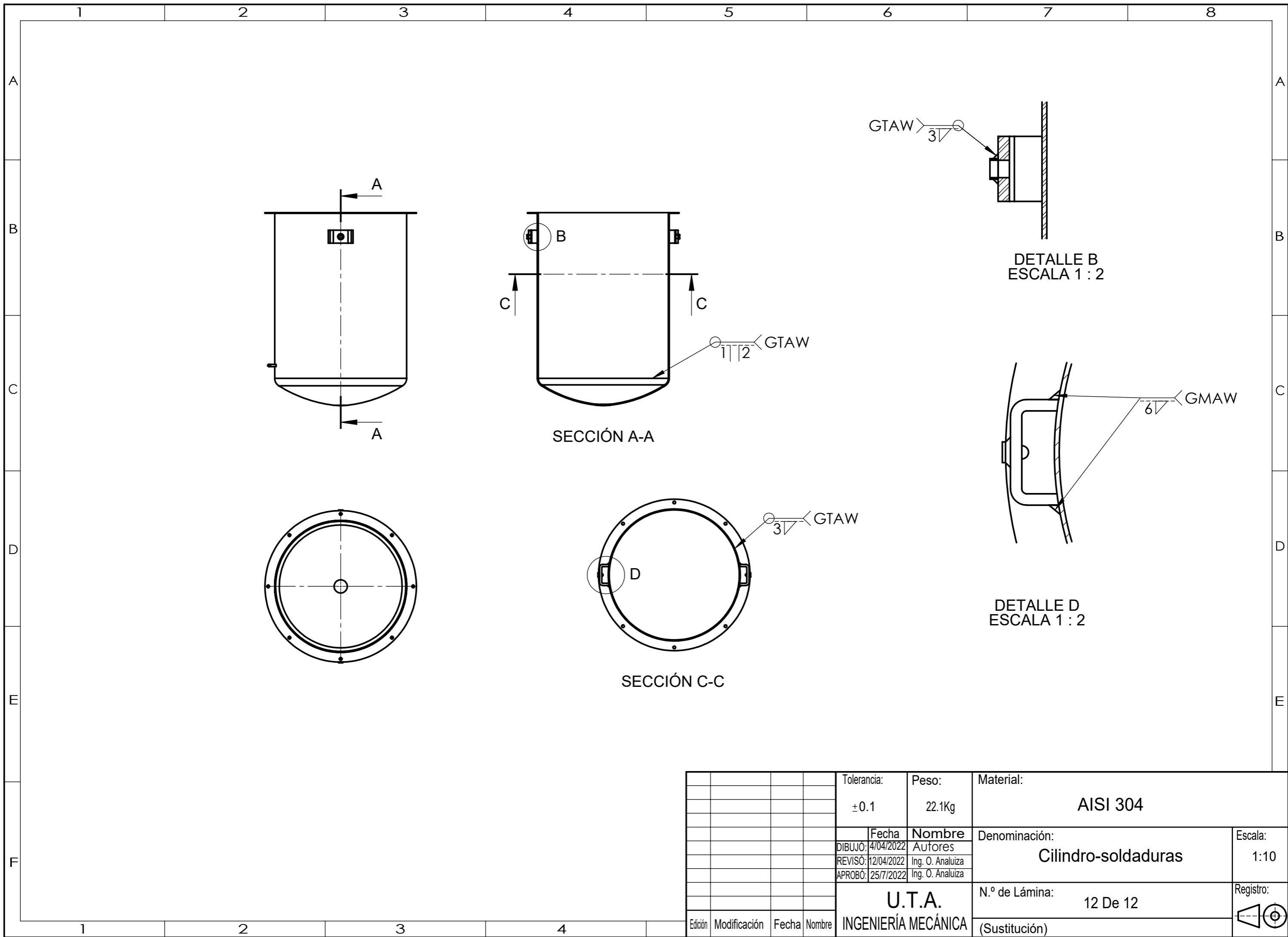


				Tolerancia:	Peso:	Material:				
				±0.1	0.036Kg	AISI 304				
				Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:		
				DIBUJÓ: 05/04/2022	Autores			Eje de Apoyo		1:1
				REVISÓ: 12/04/2022	Ing. O. Analuiza					
				APROBÓ: 25/7/2022	Ing. O. Analuiza					
				U.T.A.		Número de lámina:		Registro:		
				INGENIERÍA MECÁNICA		10 De 12				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)				

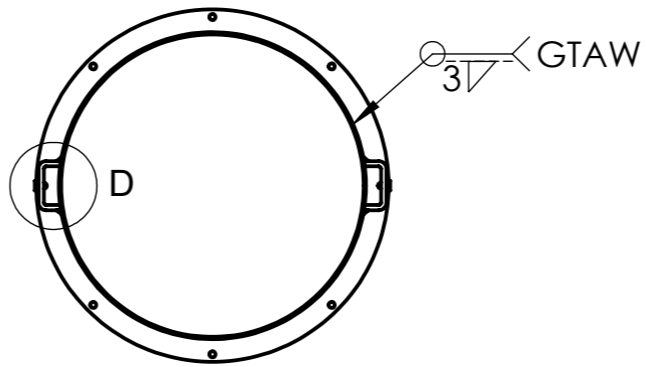


NOTA 1: toda la estructura es de tubo cuadrado de 40x40x2 AISI 304  
 NOTA 2: toda la estructura tendrá soldadura GMAW ER70S-6 y la union entre piezas será a filete por todo el perímetro

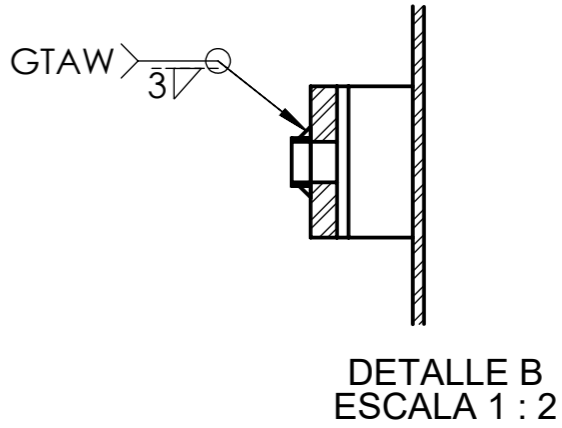
				Tolerancia: ±0.1	Peso: 22.1Kg	Material: AISI 304	
				Fecha DIBUJÓ: 4/04/2022	Nombre Autores	Denominación: Estructura de soporte del cilindro a presión	
				REVISÓ: 12/04/2022	Ing. O. Analuiza	Escala: 1:10	
				APROBÓ: 25/7/2022	Ing. O. Analuiza	Registro: N.º de Lámina: 11 DE 12	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



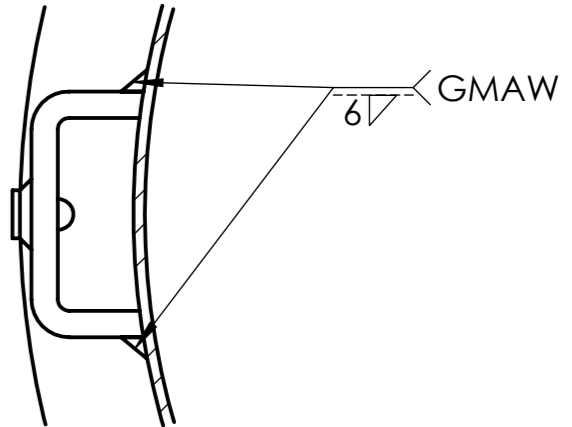
SECCIÓN A-A



SECCIÓN C-C



DETALLE B  
ESCALA 1 : 2



DETALLE D  
ESCALA 1 : 2

				Tolerancia: ±0.1	Peso: 22.1Kg	Material: AISI 304		
						Denominación: Cilindro-soldaduras	Escala: 1:10	
						N.º de Lámina: 12 De 12	Registro: 	
							(Sustitución)	
						U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					