

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE MECÁNICA INDUSTRIAL



**CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR DE PIRÓLISIS A
ESCALA DE LABORATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE
COMBUSTIBLE A PARTIR DE DESECHOS PLÁSTICOS**

Trabajo dirigido para la obtener el Título de Licenciatura en Mecánica Industrial

POR: Univ. XIMENA PUÑO MAMANI

TUTOR: LIC. WILFREDO ESPINOZA GUTIÉRREZ

LA PAZ – BOLIVIA

Enero, 2023

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD TECNOLOGÍA
CARRERA MECÁNICA INDUSTRIAL

Trabajo dirigido:

**CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR DE PIRÓLISIS A
ESCALA DE LABORATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE
COMBUSTIBLE A PARTIR DE DESECHOS PLÁSTICOS**

Presentada por: Univ. Ximena Puño Mamani

Para optar el grado académico de Licenciada en Mecánica Industrial

Nota numeral.....

Nota literal.....

Ha sido.....

Director de la carrera de Mecánica Industrial: M.Sc. Jhonny Tenorio Misto

Tutor: Lic. Wilfredo Espinoza Gutiérrez

Asesor: M.Sc. Luis Fernando Pocorey Choque

Tribunal: Ing. Humberto Cojinto Alba

Tribunal: Lic. Jorge Richard Santander Mérida

Tribunal: Lic. Víctor Chura Uruchi (†)

DEDICATORIA

Dedico el presente a JOSÉ y a mi hijita ODETH que me dieron su apoyo y me acompañaron en los buenos y malos momentos.

A los docentes, tutor y asesor, ya que gracias a ellos he aprendido los conocimientos necesarios para llegar a terminar el trabajo.

AGRADECIMIENTO

Agradecerle a Dios por permitirme cumplir mis metas, a JOSÉ y a mi hijita ODETH con los cuales siempre conté con su apoyo, llegando a ser el pilar más importante de mi vida.

Agradecerle a mi tutor Licenciado Wilfredo Espinoza Gutiérrez por su apoyo en el desarrollo de mis actividades.

A los miembros del tribunal Ing. Humberto Cojinto Alba, Lic. Jorge Richard Santander Mérida, mis agradecimientos por los consejos y sugerencias.

Al INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES TECNOLÓGICAS – IIAT, fuente infinita de conocimientos y sabiduría que supo compartir a través del M.Sc. Luis Fernando Pocreoy Choque.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLA.....	x
GLOSARIO DE TERMINOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I.....	14
INTRODUCCIÓN	14
1.1 Marco Institucional	15
Instituto de Investigación y Aplicaciones Tecnológicas (I.I.A.T.)	15
Antecedentes	15
Objetivo.....	15
Misión y Visión.....	16
Líneas de investigación.....	16
1.2 Planteamiento del problema.....	16
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivo General	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
1.4 Justificación.....	18
1.4.1 Justificación técnica	18
1.4.2 Justificación ambiental.....	18
1.4.3 Justificación social	18
1.5 Alcance.....	19
CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	20
2.1 Definición.....	20
2.2 Identificación de desechos plásticos	20

2.3	Desechos plásticos y su reciclaje	22
2.3.1	Reciclaje primario (Reutilización)	22
2.3.2	Reciclado secundario (Reciclado Mecánico)	22
2.4	Reciclado terciario (Reciclado Químico de residuos plásticos).....	23
2.5	Pirólisis.....	24
2.6	Tipos de pirólisis	24
2.6.1	Pirólisis lento.....	25
2.6.2	Pirólisis rápido	25
2.7	Parámetros que influyen en el proceso de pirólisis.....	26
2.7.1	Temperatura	27
2.7.2	Presión de funcionamiento.....	27
2.7.3	Velocidad de calentamiento	27
2.8	Determinación de variables del proceso	27
2.8.1	Temperatura	27
2.8.2	Presión.....	28
2.8.3	Tiempo de residencia	28
2.8.4	Tipo de plástico	28
2.9	Reactores pirolíticos.....	28
2.9.1	Tipos de reactores	28
	Reactor Batch.	29
	Reactor semi-batch	29
2.10	Manómetro Bourdon	29
2.11	Termocupla	30
2.12	Filtro	31
2.13	Recipiente a presión	31
2.13.1	Definición.....	31
2.13.2	Tipos de Recipiente.....	31
2.14	Código A.S.M.E.....	32
2.14.1	Tomos del código A.S.M.E.....	32
2.14.2	Limitaciones que presenta el Código A.S.M.E.	33

2.15	Parámetros para el diseño de un recipiente a presión.	33
2.15.1	Presión de operación (P_o)	33
2.15.2	Presión de diseño (P).....	34
2.15.3	Presión de trabajo máximo permisible (P_m).....	34
2.15.4	Esfuerzo de diseño a la tensión (S)	34
2.15.5	Eficiencia de las soldaduras (E)	34
2.17	Selección de Pernos.....	37
2.17.1	Estudio de la carga en los pernos y la unión	37
	CAPÍTULO 3	40
	METODOLOGÍA	40
3.1	Necesidades del usuario	40
3.1.1	Factibilidad de uso	40
3.1.2	Parámetros generales de construcción	40
3.1.3	Proceso de pirolisis	41
3.2	Componentes de diseño del prototipo de reactor de pirolisis	42
3.3	Cálculo para la construcción del reactor de pirolisis	42
3.3.1	Dimensiones del recipiente a presión.....	42
3.4	Selección del perno (brida principal)	49
3.7	Elaboración de proceso de construcción	60
3.8	Construcción del Prototipo.....	79
3.8.1	Preparación de herramientas de torneado	79
	Reactor, tapa del reactor (Pieza Nro. 25, 27 – Plano 14,15)	80
	Pernos para afirmar la tapa y las bridas.....	80
	Ensamble (conducto) de reactor a contenedor húmedo (Pieza 23 – Plano 13)	81
	Cobertura del Reactor (Pieza 2 – Plano 3)	81
	Contenedor húmedo (cilindro) (Pieza 21 – Plano 12).....	81
	Tapas del contenedor húmedo (Pieza 17,20 – Plano 10,11)	81
	Ensamble (conducto) del contenedor húmedo al filtro (Pieza 22 – Plano 13).....	82
	Conducto superior del contenedor húmedo (ingresa el gas) (Pieza 19 – Plano 11)....	82
	Filtro (Pieza 13 – Plano 8).....	82

Tapa del filtro (Pieza 15 – Plano 9).....	82
PUERTAS IZQUIERDA Y DERECHA (Pieza 5 – Plano 4)	83
CAPÍTULO 4.....	84
COSTOS	84
4.1 Costos del prototipo	84
4.1.1 Costo de materiales	84
4.1.2 Tiempos de trabajo.....	87
4.1.3 Costo del prototipo.....	89
4.1.4 Análisis de costo de producción.....	89
4.1.5 Análisis de impacto ambiental	90
CAPÍTULO 5	92
5.1 Conclusiones	92
5.2 Recomendaciones.....	93
5.3 Referencias Bibliográficas	94
ANEXOS	95
PLANOS	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Profesor Homma efectuando una demostración del equipo Blest, predios de la Facultad de Tecnología UMSA.....	17
Crédito Fotografía: Y. Homma, LF Pocorey, I.I.A.T. 2016	17
Figura 2.1 Proceso de reciclado plástico.....	26
Figura 2.2 Manómetro tipo Bourdon	30
Figura: 2.3 Termocupla.....	30
Figura 2.4 Tipos de recipientes	31
Figura 2.5 Esfuerzo en el cilindro	35
Figura 2.6 Esfuerzos longitudinales.....	35
Figura 2.7 Esfuerzos tangenciales.....	36
Figura 2.8 Esquema de representación del ensamble de la junta y el bolón.....	38
Figura 2.9 Fuerza de precarga y deflexiones iniciales	38
Figura 3.1 Proceso de pirólisis.....	41
Figura 3.2 Toriesférico.....	47
Figura 3.3 Fijación del reactor y tapa.....	49
Figura 3.4 Perno (sujetador).....	52
Figura 3.5 Cono de presión Rotscher.....	54
Figura 6.1 Prototipo	97
Figura 6.2 Reactor en posición adecuada.....	98
Figura 6.3 Variedad de plásticos.....	99
Figura 6.4 Cierre de la tapa.....	99
Figura 6.5 Filtro	100
Figura 6.6 Ubicación del botellón GLP y cocina a gas.....	101
Figura 6.7 Grifos	102
Figura 6.8 Cuidado con las manos	103
Figura 6.9 Superficie caliente	103

ÌNDICE DE TABLA

Tabla 2.1 Tipos y clasificación de los plásticos Fuente: Desarrollo de una ingeniería conceptual para proceso de pirólisis	20
Tabla 2.2 Codificación Internacional de la Sociedad de la Industria de Plástico	22
Tabla 3.1 Cuerpo cilíndrico.....	43
Tabla 3.2 Tapa plana.....	45
Tabla 3.3 Tapa toriesférico	46
Tabla 3.4 Valores del factor M para el cálculo del espesor de un toriesférico	47
Tabla 3.5 Resultados del Reactor.....	80
Tabla 3.6 Características y Propiedades de los Elementos de Unión	81
Tabla 4.1 Costo de los materiales	87
Tabla 4.2 Tiempos de trabajo.....	88
Tabla 4.3 Costo de energía necesaria de la maquina Blest	89
Tabla 4.4 Comparación de energía prototipo entre Blest.....	90
Tabla 4.5 Comparación – Precios de venta plástico oíl vs gas oíl	90
Tabla 6.1 Componentes del prototipo	97

GLOSARIO DE TERMINOS

ABREVIATURAS

A.S.M.E.	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
AISI	Instituto Americano del hierro y acero
ASTM	Sociedad Americana para pruebas y Materiales
BRIDA	Disco que está conectado a un tubo con el fin de hacer el vínculo con otras partes de la canalización.
DIN	Instituto Alemán de Estandarización
DN	Diámetro nominal
GLP	Gas Licuado de Petróleo
I.I.A.T.	Instituto de Investigación y Aplicaciones Tecnológica
INE	Instituto Nacional Estadística
INEN	Codificación Internacional de la Sociedad de la Industria de Plástico
M	Métrica
NPS	Rosca Americana Cilíndrica, para unión de Tubos
NPT	Rosca Americana para tubos
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidad
PEBD	Polietileno de Baja Densidad
PET	Tereftalato de polietileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PTFE	Polietileno
PVC	Cloruro de Polivinilo
SCH	Espesor para tubos
SECCIÓN VIII DIVISIÓN 1 Diseño de construcción e inspección de tanques y recipientes a presión	
SPI	Sociedad de la Industria de Plástico
TORIESFERICO	Tapa de los extremos del recipiente a presión de forma cilíndrica.
UNC	Rosca gruesa unificada
WWF	Fondo Mundial para la Naturaleza

RESUMEN

El incremento exponencial del uso de polímeros ha dado lugar problemas de contaminación. El presente trabajo se presentó la construcción de un prototipo de reactor de pirólisis, para la descomposición y aprovechamiento de desechos plásticos fabricados a partir de Polipropileno (PP), Polietileno (PE) y Poliestireno (PS). Para la construcción se estableció parámetros para el reactor, la cual garantice una degradación eficiente de los desechos plásticos. El prototipo con capacidad de un kilogramo (1kg); un recipiente a presión, diseñado según la norma A.S.M.E. Sección VIII División 1; una cocina a gas que otorga la temperatura necesaria para el proceso, misma que oscila entre 450 y 550 °C; instrumentos de media para presión y temperatura; y un sistema de condensación de gases. El modelado del prototipo se lo realizó mediante el software SolidWorks.

El Instituto de Investigación y Aplicaciones Tecnológicas (I.I.A.T.) de la Facultad de Tecnología, realizara las gestiones necesarias para efectuar el prototipo y análisis comparativo del combustible obtenido y sus características como aporte de investigación académico al desarrollo tecnológico.

Con la implementación del prototipo de conversión de desechos plásticos a combustible se podrá proponer la transferencia del mismo a instituciones, a empresas encargadas del tratamiento de desechos plásticos para el cuidado del medio ambiente. Por otro lado, con la obtención de combustible resultado del proceso de conversión al ser visible, permitirá promover campañas de educación y concientización en la Facultad de Tecnología, universidades, unidades educativas y otros que contribuyan al reciclado de plástico.

Palabras claves: Reactor de Pirólisis; Polímeros; Recipiente a Presión; Aprovechamiento de desechos Plásticos.

ABSTRACT

The exponential increase in the use of polymers has led to contamination problems. In the present work, the design of a thermal pyrolysis reactor prototype was presented, for the decomposition and use of plastic waste made from Polypropylene (PP), Polyethylene (PE), and Polystyrene (PS). The construction design, the parameters required by the reactor were established, making use of the alternative analysis method that allowed finding the best solution, which guarantees an efficient degradation of plastic waste. The prototype with capacity 1 kg has; a pressure vessel, designed in accordance with the ASME VIII Division I standard; a gas stove which provides the necessary temperature for the process, which ranges between 450 and 550 ° C; measuring instruments for pressure and temperature; and a gas condensation system. The prototype was modeled using SolidWorks software.

The Institute of Research and Technological Applications (I.I.A.T.) of the Faculty of Technology, carried out the necessary steps to carry out the prototype and comparative analysis of the gas obtained and its characteristics as a contribution of academic research to technological development.

With the implementation of the prototype for the conversion of plastic waste to fuel, it will be possible to propose its transfer to institutions, to companies in charge of treating plastic waste for the care of the environment. On the other hand, by obtaining the gas resulting from the conversion process, as it is visible, it will allow the promotion of education and awareness campaigns in the Faculty of Technology, universities, educational units and others that contribute to the recycling of plastic.

Keywords: Pyrolysis Reactor; Polymers; Pressure Vessels; Use of Plastic Waste

INTRODUCCIÓN

El consumo de productos plásticos se ha incrementado progresivamente, debido a sus características físicas y su bajo costo, razones por lo cual han llegado a ser dominantes en el mercado.

“Considerado que el plástico aporta alrededor de 11% al total de desechos sólidos, se estarían llegando a casi las 142.699 toneladas de plástico desechado al año en Bolivia”, señala, Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), (La Razón/Aylin Peñaranda/La Paz/19 de octubre de 2021 / 10:25)

El plástico es una amenaza para el medio ambiente por dos motivos principales; su utilización masiva en todo tipo de productos y su lenta degradación. Para la fabricación de productos plásticos parte del petróleo bruto, que al ser refinado se obtienen materiales polímeros, los que son capaces de deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de un molde, que debido a su baja degradabilidad ocasionan las acumulaciones de dichos residuos en el medio ambiente. Se calcula que el plástico tarda de 100 y 1000 años en descomponerse, por lo tanto, es considerando un material de descomposición muy lenta y a largo plazo.

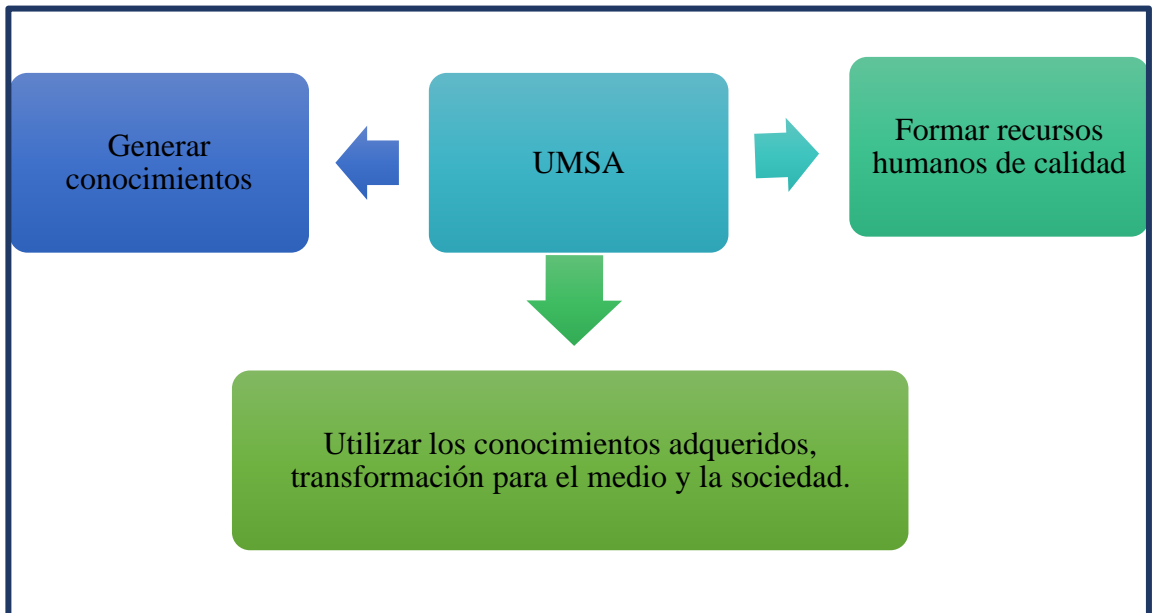
La pirólisis es un proceso en el que se da la degradación térmica de los desechos en ausencia de oxígeno/aire se realiza a temperaturas entre 200°C a 1000°C; durante este proceso los materiales poliméricos se calientan a altas temperaturas, de manera que sus macromoléculas se descomponen en moléculas más pequeñas se obtienen un aceite pirolítico (combustible), mediante una destilación se recuperan productos tales como gasolina, kerosén, diésel y una amplia gama de hidrocarburos líquidos y gaseosos.

Los productos pirolíticos generalmente se componen de una fracción semilíquida o aceite pirolítico, una fracción sólida o carbonilla y una fracción de gases combustibles no condensables.

1.1 Marco Institucional

Instituto de Investigación y Aplicaciones Tecnológicas (I.I.A.T.).

La investigación es una de las tres funciones de la universidad. En ese marco, la Universidad Mayor de San Andrés, como una Institución especializada de la sociedad, está encargada de:



Antecedentes

El Instituto de Investigaciones y Aplicaciones Tecnológicas (I.I.A.T.) fue creado mediante Resolución del HCU Nro. 083/94, es una unidad operativa dependiente de la Facultad de Tecnología de la Universidad Mayor de San Andrés encargada de planificar, programar, ejecutar y evaluar programas y proyectos, tanto de investigación y desarrollo científico y humanístico en el sector secundario y terciario; orientado a plantear opciones de solución a los problemas y necesidades que afronta la pequeña y micro industria e industria regional y nacional.

Objetivo

Investigar y desarrollar la generación de tecnologías apropiadas para el sector productivo de la región y el país. Asesorar en el surgimiento de pequeñas y micro

empresas; facilitándoles los estudios de prefactibilidad, factibilidad, instalación y su puesta en marcha.

Misión y Visión

- Investigar y desarrollar la generación de tecnologías apropiadas para el sector productivo de la región y el país.
- Asesorar en el surgimiento de pequeñas y micro empresas; facilitándoles los estudios de prefactibilidad, factibilidad, instalación y su puesta en marcha.
- Difundir los resultados de investigaciones propias y generales a través de la publicación impresa de los mismos, bajo condiciones que respeten derechos de autor y organización de actividades de comunicación académica oral.

Líneas de investigación

Las líneas de investigación deberán ajustarse tal como lo menciona el artículo 8^{vo}, del reglamento general de la Investigación y del Investigador de sistema:

- Proporcionar el desarrollo social económico y cultural a nivel municipal departamental, regional y nacional.
- Promover la formación y actualización de recursos humanos especializados.
- Generar conocimiento científico.
- Contribuir a la solución de problemas sociales económicos culturales y políticos de la sociedad.

1.2 Planteamiento del problema

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas, denominados polímeros que provocan múltiples daños en el ecosistema por su largo tiempo de degradación.

Se realizó una campaña de interacción social para el cuidado del medio ambiente en la ciudad de Uyuni – Potosí en coordinación de la Facultad de Tecnología UMSA – Instituto de Investigación y Aplicaciones Tecnológica, la empresa japonesa Blest, ha presentado una máquina para transformar los desechos plásticos en combustible.



*Figura 1.1 Profesor Homma efectuando una demostración del equipo Blest, predios ciudad de Uyuni – Potosí en coordinación con la Facultad de Tecnología UMSA
Crédito Fotografía: Y. Homma, LF Pocorey, I.I.A.T. 2016*

Fuente: <https://www.youtube.com/watch>

La máquina puede tratar diferentes tipos de plásticos como Polietileno (PE), polipropileno (PP) y Poliestireno (PS). La máquina Blest tiene con una capacidad máxima de 1Kg/ciclo, cada ciclo tiene una duración de 3 horas y el aceite pirolítico (combustible) comienza a generarse después de 1 hora, lo que significa que 1Kg de plástico puede producir aproximadamente 1L de combustible y el proceso de conversión requiere de 1 kWh de electricidad. Los datos de control de funcionamiento: encendido, apagado, temperatura, presión, etc., están en idioma japonés lo que dificulta su interpretación al momento de realizar la lectura de datos del proceso. Actualmente existe en el mercado un equipo conversor de la industria japonesa que por las características del mismo posee un costo bastante elevado de Bs. 48,369.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Construir un reactor de pirólisis a escala de laboratorio para la obtención de combustible a partir de desechos plásticos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Construir un reactor a nivel laboratorio.
- Diseñar los planos con el programa de SolidWorks.
- Establecer rangos de operación del reactor construido.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del equipo mediante una práctica.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación técnica

Para reducir el desecho plástico se empleará a construir un reactor de pirolisis que permita a los microempresarios la reducción de plástico y el uso de propio combustible alternativo.

1.4.2 Justificación ambiental

Un 28 de octubre de 2015 el presidente Evo Morales Ayma promulgó la Ley N° 755 de Gestión Integral de Residuos, ya que por primera vez Bolivia cuenta con una norma que permite generar conciencia en la ciudadanía sobre el manejo y el tratamiento adecuado de la basura.

Durante el acto, Morales reflexionó sobre la problemática que ocasiona la contaminación de los residuos, especialmente a través del uso de las bolsas de plástico (nylon).

1.4.3 Justificación social

Con la implementación del prototipo de conversión de desechos plásticos a combustible el beneficiario es el Instituto de Investigación y Aplicaciones Tecnológicas, por lo tanto, se podrá proponer la transferencia del mismo, a instituciones, a empresas encargadas del tratamiento de desechos plásticos para el cuidado del medio ambiente.

Por otro lado, con la obtención del combustible, el resultado del proceso de conversión es visible que permitirá promover campañas de educación y concientización en la Facultad de Tecnología, Universidades, Unidades Educativas y otros que contribuyan al reciclado de plástico.

1.5 Alcance

El Instituto de Investigación y Aplicaciones Tecnológicas (I.I.A.T.) de la Facultad de Tecnología, se alcanzó el objetivo del presente prototipo y sus análisis comparativos del combustible obtenido y sus características como aporte de investigación académico al desarrollo tecnológico.

El reactor será de sistema cerrado con una capacidad de un kilogramo de desecho plástico con un volumen de $1.07 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ para la construcción se consideró la norma ASME SECCIONVIII DIVSIÓN I (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) “Diseño de construcción e inspección de tanques y recipientes de presión”.

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Definición

Los plásticos son materiales formados por moléculas muy grandes llamadas polímeros, los cuales son derivados del petróleo y tienen como características la facilidad de ser moldeable.

Los plásticos se pueden dividir en varios grupos según en función de sus características, según comportamiento térmico-mecánico se pueden establecer tres grandes grupos de plástico.

TIPOS	CLASIFICACIÓN
<p>Termoplásticos No tiene una estructura rígida, al calentarse sus moléculas son libres de moverse y adoptar nuevas formas y posiciones es por ello que pueden ser reutilizados o reciclados muy fácilmente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Policloruro de vinilo • Poliestireno • Polietileno • Polipropileno
<p>Elastómeros</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cauchos • Gomas
<p>Termoestables Son insolubles e incapaces de fundirse ya que son materiales que adquieren un estado final reticulado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las resinas • Fenoplásticos

Tabla 2.1 Tipos y clasificación de los plásticos

Fuente: Desarrollo de una ingeniería conceptual para proceso de pirólisis

2.2 Identificación de desechos plásticos

Hay siete tipos de plásticos diferentes que son productos derivados del petróleo y han sido identificados por la Codificación Internacional de la Sociedad de la Industria de Plástico (SPI).

Símbolo	Flexibilidad	Aplicación del Producto	
Polietileno Tereftalato  PET	No	Botellas de bebidas, envases de aceite.	
Polietileno de alta densidad  PEAD	Si	Bolsas de supermercados, implementos de aseo.	
Policloruro de Vinilo  PVC	No	Tubos, cañerías, cables eléctricos, envases de detergentes.	
Polietileno de baja densidad  PEBD	Si	Envases: crema, shampoo, bolsas para basura, manteles.	
Polipropileno  PP	Si	Mamaderas, tapas de botellas, vasos.	

Símbolo	Flexibilidad	Aplicación del Producto	
Poliestireno 	Si	Descartables: platos, cubiertos, vasos. Empaques: yogur, helado y cajas de huevos.	
Otros 	Si	Teléfonos, artículos médicos, cepillo dental, juguetes.	

Tabla 2.2 Codificación Internacional de la Sociedad de la Industria de Plástico

Fuente: INEN, Disposición de desechos plásticos, 2012

2.3 Desechos plásticos y su reciclaje

Tomando en cuenta el tiempo de vida de los desechos plásticos, que su tiempo de degradación este alrededor de 100 años; es así que dentro de los tipos de reciclaje se han propuesto que específicamente existan un manejo adecuado para los mismos, entre los cuales podemos mencionar:

2.3.1 Reciclaje primario (Reutilización)

El reciclaje primario consiste en la reintroducción de partes hechas de un solo polímero en el ciclo de extracción, este proceso se utiliza a los desechos plásticos que tengan características similares a los productos originales.

Este tipo de reciclaje solo es factible cuando los desechos plásticos estén libres de impurezas por lo que desechos que ya han llegado al vertedero o relleno sanitario son inservibles para este tipo de proceso.

2.3.2 Reciclado secundario (Reciclado Mecánico)

Mediante este proceso se obtienen materias primas secundarias, en donde los desechos plásticos son sometidos a presión y calor para transformarse en otros objetos

iguales o distintos a los iniciales, pero con las propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original¹.

Para que este tenga buenos resultados se requiere que los plásticos a reciclar sean de gran tamaño, homogéneos, libres de impurezas y contaminantes, además los termoplásticos son termodinámicamente incompatibles, es decir que presentan temperaturas de fusión diferentes que varían entre los 80 °C y los 240 °C.

La aplicación de este método se limita a un porcentaje reducido de desechos plásticos, por tres razones primordiales²:

Los plásticos reciclados generalmente deben mezclarse con plástico virgen, debido a que los plásticos durante su vida útil y su eliminación pierden sus propiedades.

Los desechos plásticos deben ser separados homogéneamente, no deben existir mezclas de tipo de plásticos y además deben estar completamente libres de impurezas.

Se limita exclusivamente a los polímeros termoplásticos, ya que son los únicos que se pueden moldear una y otra vez sin que pierdan sus características iniciales.

2.4 Reciclado terciario (Reciclado Químico de Residuos Plásticos)

El reciclaje químico hace referencia a todos los procesos que transforman materiales plásticos en moléculas más pequeñas, habitualmente líquidos o gases, que pueden ser usados como materias primas de otros procesos petroquímicos, ya sea para producir un compuesto diferente o plástico nuevamente. Se denomina reciclado químico porque produce un cambio en la estructura química del polímero y los productos son útiles como combustibles.

El reciclado químico ha centrado su atención en la pirólisis, especialmente la pirólisis térmica y la pirólisis catalítica, como método para obtener diversas fracciones de combustible a partir de los desechos plásticos.

¹ ESPINOZA, E. *Modelo de Gestión de Residuos Plásticos, Argentina, Simposio Iberoamericano de Ingeniería de residuos, 2009.*

² MORALES, Alonso. *Obtención de Sólidos Carbonosos mediante Pirólisis de Polietileno de Baja Densidad, Madrid, Universidad Autónoma de Madrid, 2008.*

La pirólisis es una posibilidad de tratamiento además de la combustión o incineración, en las que de una forma u otra se aprovecha el contenido energético de los residuos plásticos en general³. Los plásticos están compuestos por largas cadenas poliméricas que, por acción de la temperatura, se descomponen y se obtienen compuestos de cadena más corta, estos suelen ser líquidos y gases; los plásticos, al ser sustancias de alto peso molecular no pueden ser purificados mediante procesos como la destilación, extracción o cristalización, solamente pueden ser aprovechados mediante la ruptura de macromoléculas en fragmentos más pequeños.

En la figura 2.1. se muestra en proceso de reciclado químico de plástico (pirólisis), que busca reducir las cadenas poliméricas para obtener más simples útiles en la industria petroquímica.

2.5 Pirólisis

El término “pirólisis” proviene de las palabras griegas “piro = fuego”, y “lisis = rotura”. La pirólisis térmica es un proceso endotérmico de alta energía que requiere temperaturas de por lo menos 200 a 700°C, dependiendo del polímero a degradar. En algunos procesos se requieren temperaturas de hasta 1000 °C para alcanzar rendimientos de productos aceptables, en su sentido más estricto la pirólisis debe realizarse en ausencia total de oxígeno. Los estudios realizados en craqueo térmico se han centrado principalmente en el polietileno, poliestireno y polipropileno tanto virgen como de residuos, solamente se puede obtener combustible líquido con la pirólisis de termoplásticos como PE, PP Y PS, excepto metales, papel, madera y vidrio⁴. Los tres principales componentes más importantes que se obtienen de este proceso son tres fracciones: sólida (carbono o coque), líquida (alquitrán, aceites) y una fracción gaseosa.

2.6 Tipos de pirólisis

El proceso de pirólisis puede clasificarse en lenta y rápida, donde está relacionado directamente con la velocidad de calentamiento en °C.

³ CASTELLS, Elías. La pirólisis, España, Ediciones Díaz de Santos, 2012.

⁴ UNEP. Conversión de residuos plásticos en recurso, Compendio de Tecnologías, Osaka Japón, 2009

2.6.1 Pirólisis lento

Los desechos plásticos se calientan con valores menores o iguales 30°C/min, ayuda mayormente a la formación de carbón y fracción gaseosa⁵, el tiempo necesitado para calentar el combustible a temperatura del proceso de pirólisis es muy superior al tiempo de reacción de la pirólisis.

2.6.2 Pirólisis rápido

Los desechos plásticos se calientan con valores superiores a 150°C/min, en dónde el vapor de pirólisis resultante se elimina muy rápido de la zona de reacción, promoviendo la obtención de una fracción líquida en mayor porcentaje⁶.

BROWN, L. Pirólisis rápida de residuos de fibra contaminados con plástico para su uso como combustibles, 2019.

⁶ *BROWN, L. OpCs.*

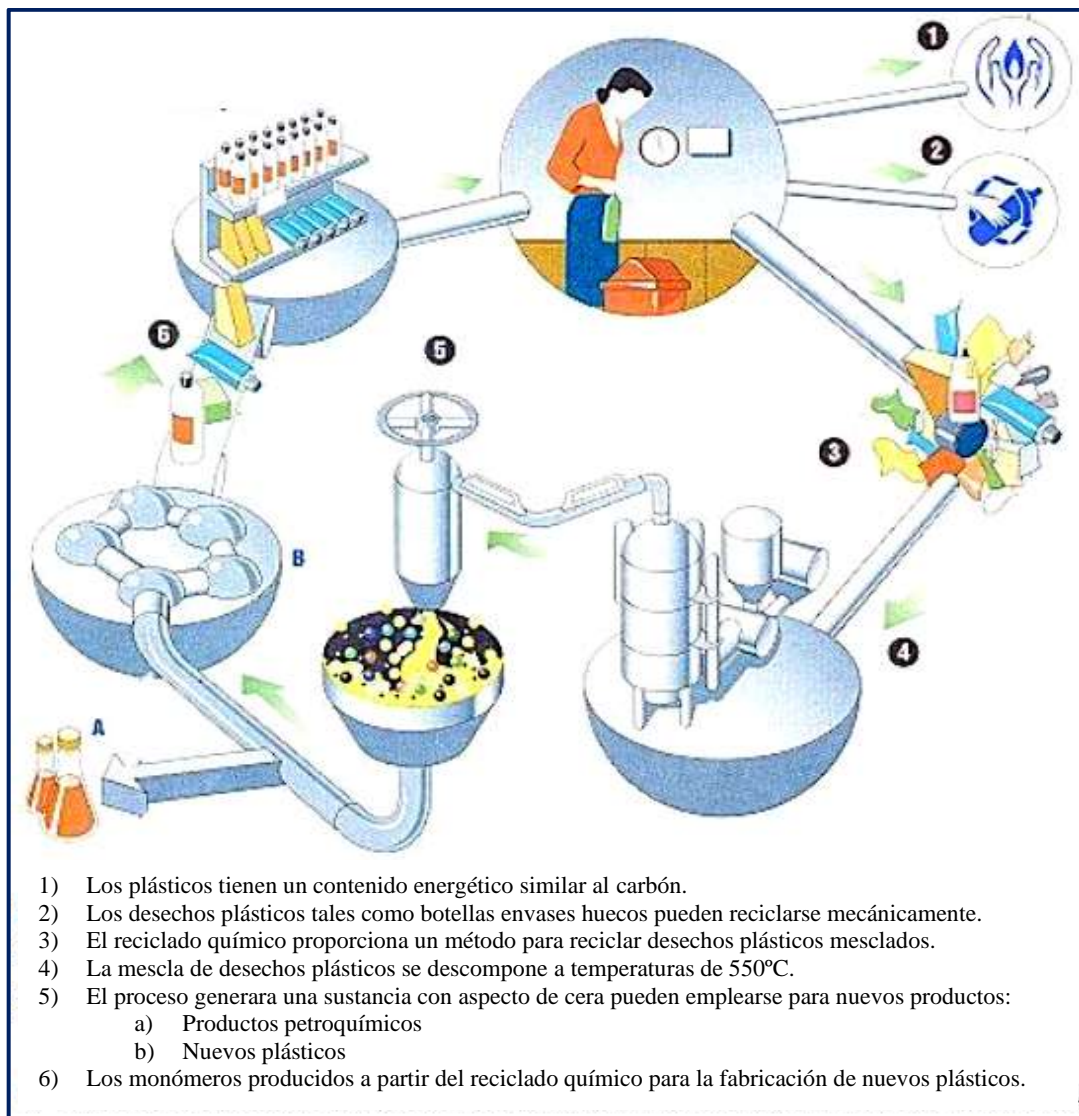


Figura 2.1 Proceso de reciclado plástico

Fuente: LINAZISORO Ibón. *El reciclado químico, otra alternativa menos conocida*

2.7 Parámetros que influyen en el proceso de pirólisis

Composición del material a pirolizar, el producto obtenido está en función al material que ingresa⁷.

Los parámetros que influyen en el proceso de pirólisis térmica son:

⁷ ARACIL SÁEZ, I. *OpCs*

2.7.1 Temperatura

La temperatura es la variable que determina la velocidad de descomposición térmica, así como la estabilidad de las materias primas que ingresan, y de igual manera influye en los productos obtenidos.

El proceso de pirólisis se desarrolla a una temperatura que varía desde los 200°C hasta los 1000°C, en si la temperatura ayuda al rompimiento de enlaces químicos de las moléculas, lo que provoca el rompimiento de enlaces de carbono. Dentro del proceso de la pirólisis se puede distinguir tres etapas de temperatura.

Entre 220°C y 330°C: la fracción que mayor se obtiene de la descomposición de los materiales plásticos son sólidas (cenizas y coque).

Entre 330°C y 450°C: las fracciones líquidas tienen un alto rendimiento, mientras que la generación de gases se da en menor cantidad.

Las temperaturas a 500°C los plásticos pasan su punto de ebullición y la fracción con mayor rendimiento son gases.

2.7.2 Presión de funcionamiento

Es un parámetro primordial para la construcción del reactor, ya que a través de este parámetro se calculará el espesor del recipiente a presión.

2.7.3 Velocidad de calentamiento

La temperatura es de gran importancia en la pirólisis; pudiendo clasificarse en pirólisis lenta y flash. En un proceso de pirólisis lenta, que tiene tiempos de reacción de horas o días, es la reacción que la controla el proceso de descomposición (facilita la obtención de la fracción sólida) y en la pirólisis flash la transmisión de calor es la que controla la descomposición (facilita la formación de líquidos a temperaturas mayor 500°C y a mayores temperaturas la obtención de gases).

2.8 Determinación de variables del proceso

2.8.1 Temperatura

La temperatura en el proceso de pirólisis es uno de los aspectos más importantes a considerar, ya que estará en función de los productos que se desean obtener.

2.8.2 Presión

La presión en el proceso de pirólisis es directamente proporcional a la temperatura es decir a mayor temperatura mayor generación de presión dentro del reactor y por ende mayor cantidad de productos.

2.8.3 Tiempo de residencia

El tiempo de residencia está relacionado directamente con los productos que se deseen obtener, como también determina el tipo de reactor que se desea utilizar para que el proceso ocurra con normalidad y los productos que se desea obtener.

2.8.4 Tipo de plástico

El tipo de plástico en el proceso es de mucha importancia, de este depende mucha la clase de productos que se deseen obtener.

2.9 Reactores pirolíticos

Es la unidad en la que ocurre una o varias reacciones químicas. Este equipo se compone de una cámara cerrada que dispone de entradas y salidas para el material y demás compuestos usados en la reacción⁸.

Para el proceso de la pirólisis, se debe tener una caracterización de los tipos de reactores que se vaya utilizar en el proceso. Resulta que la determinación de cada uno depende de muchos factores, entre ellos, el tiempo de residencia, el tipo de contacto entre la muestra a degradar.

2.9.1 Tipos de reactores

Existen varios tipos de reactores, los cuales tienen diferentes aplicaciones, pueden resumirse en tres tipos de reactores: reactores de tipo batch trabaja de manera discontinuo, reactor CSTR (reactor de mezcla completa de flujo continuo) trabaja de manera continua y reactor de tipo PFR (reactor de flujo pistón) trabajan en región estable, flujo continuo, ausencia de mezclado axial dentro del reactor.

⁸ RAMIREZ GARCÍA, A. *Diseño de Reactores de Polimerización*, Revista Iberoamericana de Polímeros, 2009, 299 – 320.

Reactor Batch.

El reactor batch se emplea para operaciones a pequeña escala, para experimentar con procesos nuevos a escala de laboratorio. El reactor tipo Batch es un reactor donde no existe flujo de entrada ni de salida, es simplemente un reactor con agitador que homogeneiza la mezcla, es esencialmente un tanque en el que sea permitido que ocurra una reacción. Una vez que sea tratado un lote, se vacía el reactor y se puede entonces tratar un segundo lote. Este tipo de reactor permite trabajar con tamaños de muestra pequeños y con un adecuado control⁹.

Reactor semi-batch

Un reactor semi-batch es un tipo de equipo bastante similar al reactor batch, con la diferencia de que tiene un fluido de gas inerte (por lo general es nitrógeno) capaz de desplazar y guiar a los volátiles generados a otros sectores, disminuyendo las reacciones secundarias en el volumen del equipo.

Por lo general, tanto los reactores batch, como los reactores semi-batch son escogidos dada la simplicidad que significa su diseño e implementación, lo que en muchos casos viene acompañado de un ahorro en los costos de la confección del equipo. Sin embargo, este tipo de reactores se caracterizan por requerir tiempos de reacción elevados, lo que eleva los costos operacionales. Por ejemplo, el coque (o residuo carbonoso) que queda adherido a las paredes de estos equipos dificulta la transferencia de calor, elevando los tiempos de reacción y por ende los costos operacionales.

2.10 Manómetro Bourdon

El manómetro de bourdon es un instrumento que sirve para medir la presión. Mide la presión manométrica, es la presión total que tiene el gas menos la presión atmosférica.

⁹ BASU, P, Biomás Gasificación y Pirólisis 2010



Figura 2.2 Manómetro tipo Bourdon

Fuente: MEI, (2015)

2.11 Termocupla

Una termocupla es un dispositivo eléctrico que consiste en dos conductores eléctricos diferentes que forman uniones eléctricas a diferentes temperaturas. La termocupla produce un voltaje dependiente de la temperatura como resultado del efecto termoeléctrico, y este es un sensor para medir la temperatura.

Debido a que los termopares miden en rangos de temperatura muy amplios y son relativamente resistentes.



Figura: 2.3 Termocupla

Fuente: <https://es.wikipedia.org> > wiki > Termopar

2.12 Filtro

El filtro es un dispositivo que retiene ciertos elementos. El concepto suele referirse al material poroso que permite el tránsito de un líquido, aceite y gases, pero bloquea a las partículas que el fluido lleva en suspensión.

La finalidad de un filtro es proteger a las personas, el medio ambiente y garantizar la calidad del producto. Así mismo, se debe tomar en cuenta que, en procesos de producción, el control de la contaminación es un deber.

2.13 Recipiente a presión

2.13.1 Definición

Los recipientes a presión son contenedores cerrados que sean capaz de almacenar un fluido a presión manométrica. La presión puede ser obtenida de una fuente externa o por la aplicación de calor de una fuente directa o indirecta, sin importar la forma o dimensiones que el recipiente tenga.

2.13.2 Tipos de Recipiente

Los recipientes a presión pueden ser clasificados por la forma que estos presentan por el uso que a estos se les dé.

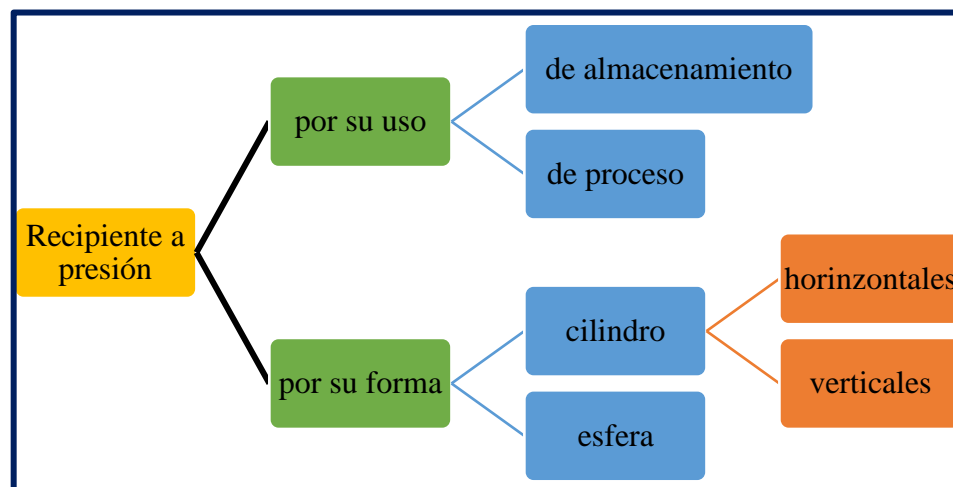


Figura 2.4 Tipos de recipientes

Fuente: Elaboración propia

2.14 Código A.S.M.E.

El código para calderas y recipientes a presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (A.S.M.E.), se originó por la necesidad de proteger a la sociedad de las continuas explosiones de calderas que se sucedían antes de reglamentar su diseño y construcción.

El objetivo de las reglas del código A.S.M.E.¹⁰ es suministrar protección a la vida y proporcionar un margen de deterioro de los equipos en servicio que conduzcan a un periodo de utilización razonablemente largo y seguro. En la formulación de estas reglas y en el establecimiento de las presiones máximas admisibles de diseño se consideran los materiales, los métodos de fabricación y construcción, el tipo de inspección y los accesorios de seguridad.

El código contiene requisitos obligatorios, prohibiciones específicas y guías no obligatorios para algunas actividades de la construcción. El código no da indicaciones sobre todos los aspectos de estas actividades y aquellos aspectos que no están específicamente contemplados no deberían ser considerados prohibidos.

2.14.1 Tomos del código A.S.M.E.

El código A.S.M.E. se divide por tomos y son los siguientes:

Sección I Reglas para la Construcción de Calderas de Potencia.

Sección II Reglas de Materiales.

Parte A: Especificaciones de Materiales Ferrosos.

Parte B: Especificaciones de Materiales no Ferrosos.

Parte C: Especificaciones de Materiales de Soldadura.

Parte D: Propiedades (Métrica).

Sección III Plantas de potencia Nuclear.

Sección IV Calderas para Calefacción.

¹⁰ A.S.M.E., Código. ASME Sección VIII División 1 (2010).

Sección V	Pruebas no Destructivas.
Sección VI	Recomendadas para el Cuidado y Operación de Calderas.
Sección VII	Reglas Sugeridas para el Cuidado de Calderas de Potencia.
Sección VIII	Reglas para la construcción de recipientes a presión
División 1: Recipientes a Presión.	
División 2: Recipientes para Diferentes Alternativas para Recipientes a Presión.	

2.14.2 Limitaciones que presenta el Código A.S.M.E.

El código A.S.M.E. Sección VIII División 1, especifica claramente algunas limitaciones entre las principales tenemos:

- El espesor mínimo, se establece para recipientes construidos en acero al carbono, el espesor será de 3/32 pulgadas (2,38mm). Independientemente de su uso, ya que, para algunos usos particulares, se especifican espesores diferentes.
- La presión mínima que se deberá diseñarse los recipientes será 15 Psi (0,1MPa).
- La presión máxima será de 3000 Psi (20,6 MPa).
- El diámetro interior mínimo será de 6 pulgadas (152,4mm).
- Los recipientes diseñados y construidos bajo este código, no deberán tener elementos principales móviles, ya sean rotatorios, razón por lo cual se excluyen del alcance del mismo las bombas, compresores, turbinas y cualquier equipo que tenga elementos principales móviles.
- Deberán ser estacionarios.

2.15 Parámetros para el diseño de un recipiente a presión.

Los espesores mínimos requeridos están determinados por los siguientes parámetros:

2.15.1 Presión de operación (Po)

La presión de operación es la presión de trabajo y es la presión manométrica a la cual estará sometido un equipo en condiciones de operación normal.

2.15.2 Presión de diseño (P)

Está definida como el valor que debe utilizarse en las ecuaciones para el cálculo de las partes constitutivas de los recipientes sometidos a presión, dicho valor será calculado mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Si } P_o > 300\text{Psi} \rightarrow P = 1.1 \cdot P_o$$

$$\text{Si } P_o < 300\text{Psi} \rightarrow P = P_o + 30\text{psi}$$

Donde:

P = Es la presión de diseño

P_o = Es la presión de operación

2.15.3 Presión de trabajo máximo permisible (P_m)

Es la presión interna a la que está sujeto el elemento más débil del recipiente correspondiente al esfuerzo máximo admisible, cuando se supone que el recipiente está:

- En estado de desgaste por corrosión.
- Bajo de los efectos de la temperatura de diseño.
- En la posición normal de operación.
- Bajo los efectos cargas (carga de viento, presión externa, presión hidrostática) que son aditivas a la presión interna.

Es una práctica común, seguida por los usuarios, diseñadores y fabricante de recipientes a presión, limitar la presión de trabajo máximo permisible por la resistencia del cuerpo o las tapas.

2.15.4 Esfuerzo de diseño a la tensión (S)

Es el valor máximo al que puede sostener un material, que forma parte de un recipiente a presión, en condiciones normales de operación.

2.15.5 Eficiencia de las soldaduras (E)

Se puede definir la eficiencia de la soldadura, como el grado de confiabilidad que se pueda tener de ellas. Los tipos de unión comúnmente usados en la fabricación de recipiente a presión, ver ANEXO 9 – tabla 7.

2.16 Esfuerzo de un cilindro

Una de las aplicaciones de los esfuerzos normales repartidos uniformemente se presta en el estudio de cilindros de paredes delgadas sometidos a presión interna, se genera dos tipos de esfuerzos, uno longitudinal a lo largo de su generatriz, y el otro tangencial en el sentido transversal a la generatriz.

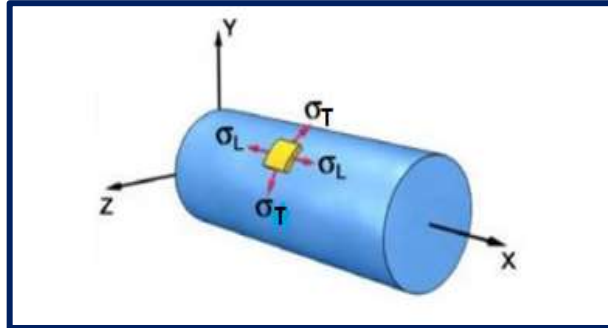


Figura 2.5 Esfuerzo en el cilindro

Fuente: HIBBELER, R. C. Mecánica de materiales, México, Tercera edición.

Donde:

Longitudinal σ_L

Tangencial σ_T

Separados el cilindro en dos partes y se analiza el equilibrio en X. La fuerza resultante de las presiones es equilibrada por la resultante de los esfuerzos normales en la pared del recipiente. Tomando en cuenta que estos esfuerzos son paralelos al eje longitudinal del cilindro, se denomina esfuerzos longitudinales σ_L .

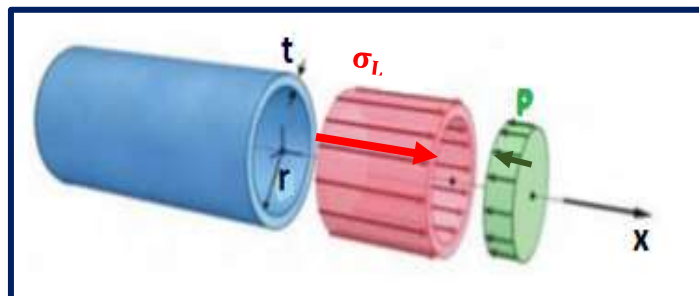


Figura 2.6 Esfuerzos longitudinales

Fuente: HIBBELER, R. C. Mecánica de materiales, México, Tercera edición.

Donde:

Espesor t [mm]

Radio r [mm]

Diámetro D [mm]

Esfuerzo longitudinal σ_L [Psi]

Presión interna P [Psi]

La presión y el esfuerzo longitudinal actúan sobre el área iguales a πr^2 y $2\pi r t$ respectivamente. Por tanto, la ecuación de equilibrio es x será:

$$\sigma_L(2 \cdot \pi \cdot r \cdot t) = P(\pi \cdot r^2)$$

Luego el esfuerzo longitudinal será:

$$\sigma_L = \frac{P \cdot r}{2t} \quad \leftrightarrow \quad \sigma_L = \frac{P \cdot D}{4t}$$
$$\sigma_L = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

Consideremos ahora el equilibrio en Z de la porción del cilindro que se muestra en la Figura 2.7 resultantes de las presiones es equilibrada por la resultante de los esfuerzos normales en la pared del recipiente. Como estos esfuerzos son paralelos a la circunferencia media de la sección transversal de denomina esfuerzos tangenciales σ_T .

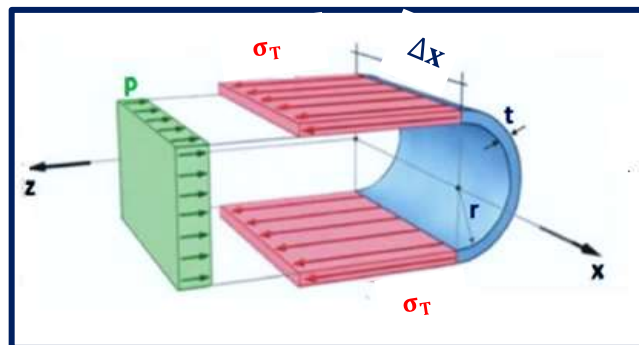


Figura 2.7 Esfuerzos tangenciales

Fuente: HIBBELER, R. C. *Mecánica de materiales*, México, Tercera edición.

Donde:

t =Espesor[mm]

$r = \text{Radio [mm]}$

$D = \text{Diámetro [mm]}$

$\sigma_T = \text{Esfuerzo longitudinal [Psi]}$

$P = \text{Presión interna [Psi]}$

Planteando el equilibrio en Z:

$$\sigma_T(2 \cdot t \cdot \Delta x) = P(2 \cdot r \cdot \Delta x)$$

De donde el esfuerzo circunferencial será:

$$\sigma_T = \frac{P \cdot r}{t} \leftrightarrow \sigma_T = \frac{P \cdot D}{2 \cdot t}$$
$$\sigma_T = \frac{P \cdot D}{2 \cdot t}$$

2.17 Selección de Pernos

El propósito del perno consiste en sujetar dos o más miembros o partes diversas de una misma máquina. Estos ensambles tienen como elementos a fines como arandelas, cuya función es mejorar la clase de ajuste y sirve como fusible para evitar deterioro en las partes a ensamblar y también a las tuercas.

Un apriete de la tuerca se estira el perno y de esta manera se produce la fuerza de sujeción, que se llama pretensión o precarga del perno. La cual existe en la conexión después de realizar el apriete de la tuerca en forma apropiada, sin importar si ejerce o no la fuerza externa de tensión P.

Cuando los miembros se están sujetando, la fuerza de sujeción que produce la tensión en el perno induce compresión en los elementos.

2.17.1 Estudio de la carga en los pernos y la unión

Para evitar la separación de las uniones, los pernos deben tener un apriete adecuado, la fuerza aplicada para dicho apriete es denominada precarga del perno. Cuando se somete a esta fuerza, su tracción y deformación aumenta, el tornillo se estira y la zona de unión se comprime. Esto se puede analizar con mayor detenimiento en la Figura 2.9 donde se muestra el ensamble tornillo y junta como si se tratara de dos resortes. Para representar la junta un resorte a compresión k_m y para representar el tornillo otro resorte a extensión de constante k_b .

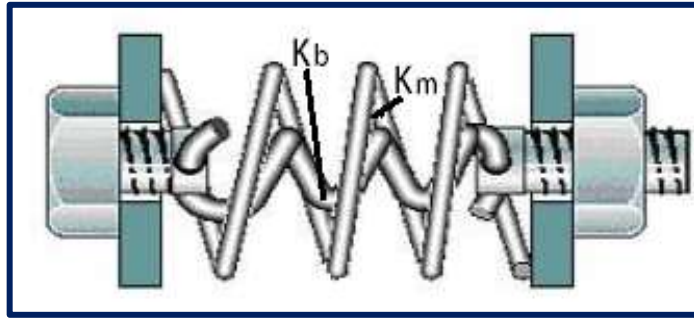


Figura 2.8 Esquema de representación del ensamble de la junta y el bolón

Fuente: Elementos de máquinas Dr. Ing. Marcelo Tulio, Carga y compresión en el material y tensión en el perno.

La fuerza sobre el perno al termina el apriete se denomina fuerza inicial F_i . la deflexión δ_b del perno y δ_m del material están controladas por sus respectivas constantes de resorte y alcanzan a los puntos A y B en sus respectivas curvas de carga – deflexión, como se muestra en la Figura 2.8 considerando los supuestos de las magnitudes relativas k_b y k_m , el perno se estira más de lo que se comprime el material.

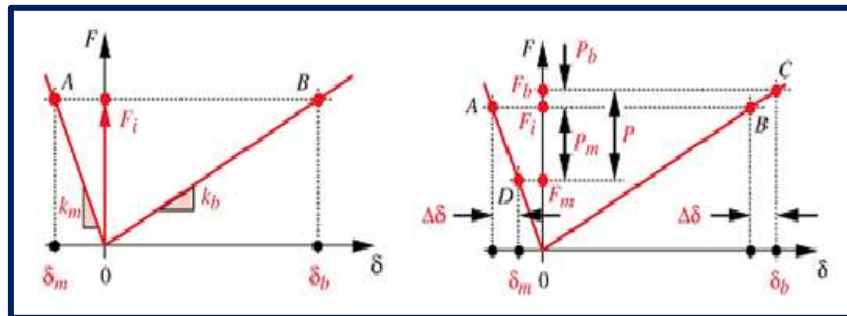


Figura 2.9 Fuerza de precarga y deflexiones iniciales

Fuente: Norton; 4^{ta} Edición.

$$F_i = \text{precarga}$$

$$P_{total} = \text{carga externa de tensión total aplicada a la unión}$$

$$P = \text{carga externa de tensión}$$

$$P_b = \text{parte de } P \text{ tomada por el perno}$$

$$P_m = \text{parte } P \text{ tomada por los elementos}$$

$$F_b = P_b + F_i = \text{carga resultante en el perno}$$

$$F_m = P_m - F_i = \text{carga resultante en los elementos}$$

$$C = \text{fracción de la carga externa } P \text{ soportada por el perno}$$

Cuando se aplica una carga externa de tensión P a una unión con pernos, se debe suponer que la fuerza de sujeción a la que se llama precarga F_i es la misma que actúan en el bulón como en la junta del material, pero genera obviamente distintos valores de deformación como se ve en la figura 2.9. Ahora bien, ante carga tractiva externa P , posteriormente a la carga, se verifica una extensión adicional en el perno lo que significa que el punto B se traslada al C. Y un alivio en la junta lo que significa que el punto A se traslada al D. De manera que la carga P se reparte de la siguiente forma.

Cuando se aplica una carga externa de tensión P a una unión con pernos, se debe suponer que la fuerza de sujeción a la que se llama precarga F_i , se ha aplicado de manera correcta apretando la tuerca antes de aplicar P .

METODOLOGÍA

3.1 Necesidades del usuario

El prototipo tiene como objetivo cubrir la necesidad de tener buen rendimiento y eficiencia; que facilite la degradación térmica de los desechos plásticos, para la obtención de aceite pirolítico (combustible), que realizará el estudio e investigación en el Instituto de Investigaciones y Aplicaciones Tecnológicas (I.I.A.T.) de la Facultad de Tecnología, donde se estableció los siguientes requerimientos:

3.1.1 Factibilidad de uso

- Cumplimiento y aprovechamiento de los desechos plásticos.
- Componentes adaptables y reemplazables.
- Durabilidad.
- Bajo costo.
- Eficiente.
- Capacidad óptima.
- Ligero.

3.1.2 Parámetros generales de construcción

- Tamaño del equipo (Dimensiones).
- Capacidad.
- Tipos de plásticos a degradar.
- Materiales de los componentes.
- Eficiencia de degradación.
- Consumo energético.

3.1.3 Proceso de pirólisis

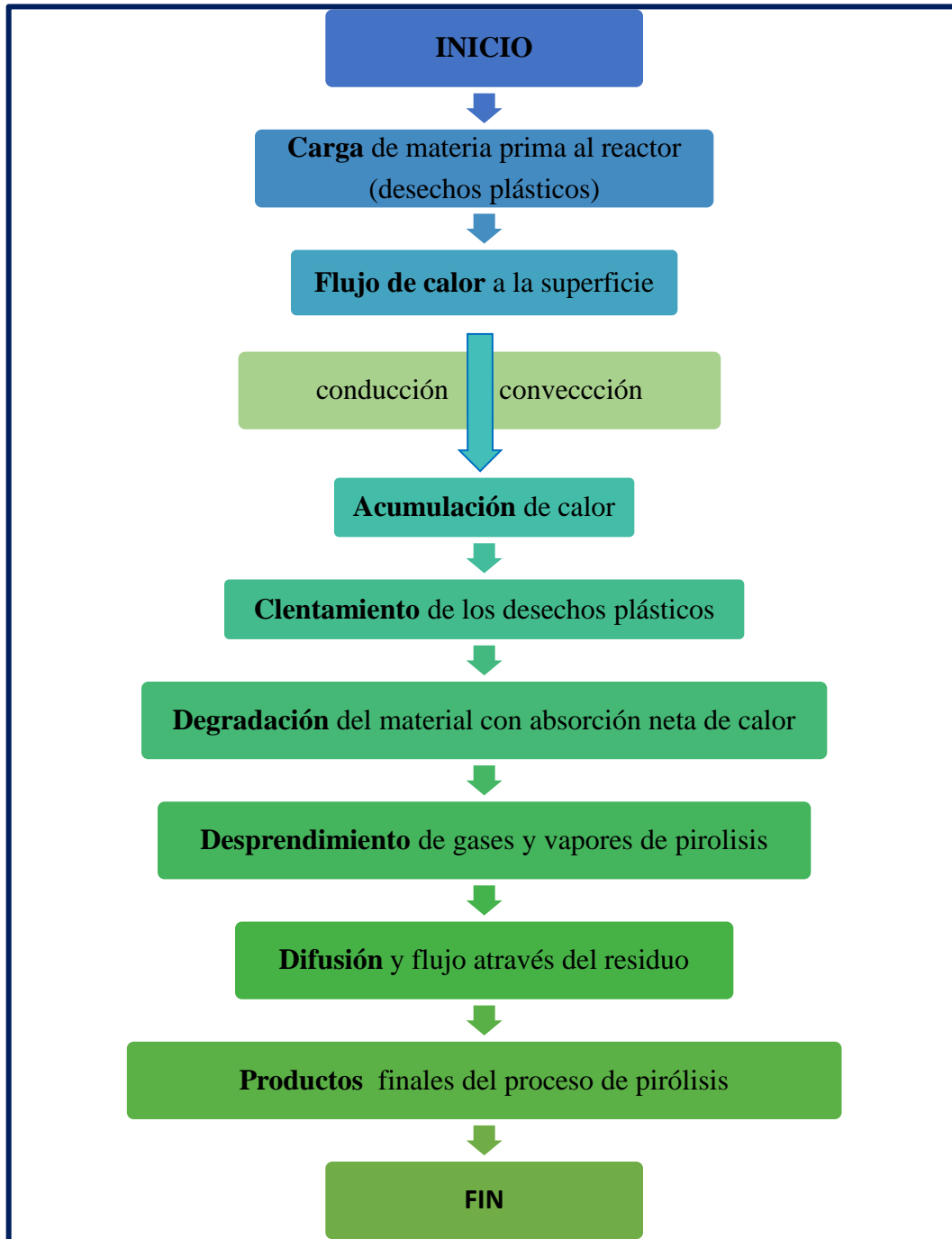


Figura 3.1 Proceso de pirólisis

Fuente: CONESA FERRER Juan Antonio, estudio de la pirólisis de residuos plásticos de polietileno y neumáticos usados.

3.2 Componentes de diseño del prototipo de reactor de pirólisis

El prototipo está construido por los siguientes componentes:

- Tubos material ASTM A516 Gr 70
- Chapa (tapa del reactor) material ASTM A516
- Pieza (tapa del contenedor húmedo) material PTFE
- Contenedor húmedo (material PP), con agua de enfriamiento
- Recipiente portátil a la estructura
- Chapa ASTM A36

3.3 Cálculo para la construcción del reactor de pirólisis

3.3.1 Dimensiones del recipiente a presión

La densidad de los desechos plásticos, para obtener un volumen tentativo del recipiente que va a contener dichos residuos:

Densidad del polietileno (baja y alta): 0.92 a 0.96 g/cm³

Densidad del polipropileno: 0.9 g/cm³

Densidad del poliestireno: 1.06 g/cm³

Por tanto, el volumen se hallará con la siguiente relación, teniendo en cuenta la capacidad del prototipo de 1Kg.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

$\rho = \text{densidad [Kg/m}^3\text{]},$

$m = \text{masa [Kg]}$

$V = \text{volumen [m}^3\text{]}$

Remplazando ecuación 3.1

$$V = \frac{1\text{kg}}{900 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 0.001\text{m}^3$$

Datos:

NPS = 8" → DN = 200 Ver ANEXO 4 – tabla 1

$D_i = 211.58\text{mm}$

$V_c = 0.001\text{m}^3 = 1\text{litros}$

$$h = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_i^2} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

$DN = \text{Diámetro Nominal}$

$D_i = \text{Diámetro interior}$

$V_c = \text{Volumen del cilindro}$

$$h_{c1} = \frac{4 \cdot 1 \times 10^6 \text{mm}^3}{\pi(211.48\text{mm})^2}$$

$$h_{c1} = 28.47 \text{ mm} \cdot 6$$

$$h_{c1} = 170.82\text{mm}$$

Espesor del cuerpo cilíndrico

Para calcular el cuerpo cilíndrico se hace uso de las expresiones para esfuerzos circunferenciales (Junta longitudinal), ver tabla 3.1.

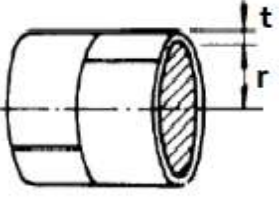
	$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0.6 \cdot P}$ <p style="text-align: right;"><i>Ecuación 3.3</i></p>
	<p>Donde:</p> <p>$t = \text{Espesor de pared (mm)}$</p> <p>$P = \text{Presión interior [MPa]}$</p> <p>$R = \text{Radio interior (mm)}$</p> <p>$S = \text{Esfuerzo máximo del material a la temperatura deseada [MPa]}$</p> <p>$E = \text{Eficiencia de la junta}$</p>

Tabla 3.1 Cuerpo cilíndrico

Fuente: Código A.S.M.E. Sección VIII División 1

Se selecciono un material ASTM A516 Gr70, la temperatura máxima que está sometido es de 550°C la tensión admisible es 12.9MPa, la presión de operación es 100Psi y se toma en cuenta la junta de 0.85.

$$S = 12.9\text{MPa (A.S.M.E. sección VIII división 1)}$$

$$E = 0.85 \text{ (A.S.M.E. sección VIII división 1)}$$

$$P_o = 26\text{Psi}$$

$$r = 105.79\text{mm}$$

$$\text{Si } P_o < 300\text{Psi} \rightarrow P = P_o + 30\text{Psi}$$

Ecuación 3.4

$$P = 26\text{Psi} + 30\text{Psi}$$

$$P = 56\text{Psi} \rightarrow 0.39\text{Mpa}$$

Remplazamos en la ecuación 3.2

$$t = \frac{0.39\text{Mpa} \cdot 105.79\text{mm}}{12.9\text{Mpa} \cdot 0.85 - 0.6 \cdot 0.39\text{Mpa}}$$

$$t = 3.76\text{mm}$$

Ver ANEXO – tabla 1, corresponde A.S.M.E. B36.10M DN200 SCH 10

Espesor de la tapa

Como la tapa plana es circular, va a colocarse en la parte superior mediante una junta de brida, ver tabla 3.2.

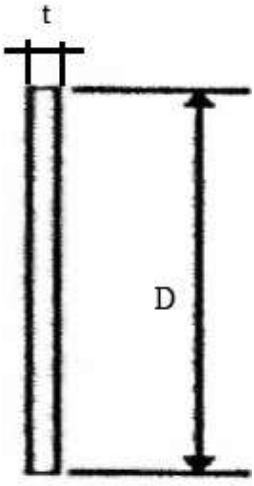
	$t = D \cdot \sqrt{\frac{C \cdot P}{S \cdot E}}$	<i>Ecuación 3.5</i>
	$P = \frac{S \cdot E \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^2}{C}$	<i>Ecuación 3.6</i>
	<p>Donde:</p> <p><i>t</i> = Espesor de la tapa (mm)</p> <p><i>P</i> = Presión de trabajo (Psi).</p> <p><i>S</i> = Esfuerzo ultimo a la temperatura de trabajo</p> <p><i>D</i> = Diámetro de la tapa (mm).</p> <p><i>E</i> = Eficiencia de soldadura.</p> <p><i>C</i> = Factor de forma que dependa del tipo de unión de la tapa, para el caso de las tapas planas pernadas es 0.162.</p>	

Tabla 3.2 Tapa plana

Fuente: Código A.S.M.E. Sección VIII División 1

Remplazando a la ecuación 3.5

$$t_{\text{tapa}} = 260\text{mm} \cdot \sqrt{\frac{0.162 \cdot 0.39\text{MPa}}{12.9\text{MPa} \cdot 0.85}}$$

$$t_{\text{tapa}} = 19.74\text{mm} \cong 20\text{mm}$$

$$t_{\text{tapa}} = 20\text{mm}$$

Remplazando en la ecuación 3.6

$$P_{\text{tapa}} = \frac{12.9\text{MPa} \cdot 0.85 \cdot \left(\frac{20\text{mm}}{250\text{mm}}\right)^2}{0.126}$$

$$P_{\text{tapa}} = 0.43\text{MPa}$$

Espesor del toriesférico

Debido a que dicha geometría soporta mayor presión interna y concentración de esfuerzos.

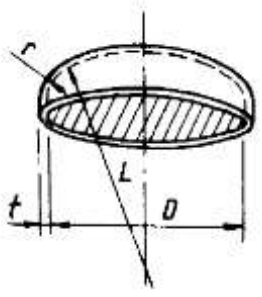
	$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P}$	<i>Ecuación 3.7</i>
	$P = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{L \cdot M + 0.2 \cdot t}$	<i>Ecuación 3.8</i>
	<p>Donde: $t =$ Espesor de pared (mm) $R =$ Radio interior (mm)</p>	<p>Nota: $L \leq D$ $L = 0.9 d_{int\ cil}$ $R = 0.085 L$</p>

Tabla 3.3 Tapa toriesférico

Fuente: Código A.S.M.E. Sección VIII división 1

Se selecciono un material ASTM A516 Gr70

$$R = D_e \quad \text{Ecuación 3.9}$$

$$r = R/10 \quad \text{Ecuación 3.10}$$

$$L \leq D$$

$$L = 0.9 \cdot D_{int} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

$$L = 0.9 \cdot 0.21158m$$

$$L = 0.19m$$

De la ecuación 3.9

$$R = 0.2191m$$

Reemplazando en la ecuación 3.10

$$r = 0.2191m/10$$

$$r = 0.02191m$$

$$L/r = 0.19m/0.02191m$$

$$L/r = 8.67 \cong 9$$

VALOR DEL FACTOR "M"														
L/r	1,0	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	4,00	4,50	1,0
M	1,00	1,03	1,06	1,08	1,10	1,13	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25	1,28	1,00
L/r	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,5	10,5	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	7,00
M	1,41	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,60	1,62	1,65	1,69	1,41

Tabla 3.4 Valores del factor M para el cálculo del espesor de un toriesférico

Fuente: Código A.S.M.E. Sección VIII división 1

De la tabla 3.4 se halla M

$$M = 1.50$$

Remplazando en la ecuación 3.7

$$t = \frac{0.39\text{MPa} \cdot 190\text{mm} \cdot 1.50}{2 \cdot 12.9\text{MPa} \cdot 0.85 - 0.2 \cdot 0.39\text{MPa}}$$

$$t = 5\text{m}$$

Presión de toriesférico

Remplazando en la ecuación 3.8

$$P = \frac{2 \cdot 12.9\text{MPa} \cdot 0.85 \cdot 5\text{mm}}{190\text{mm} \cdot 1.50 - 0.2 \cdot 5\text{mm}}$$

$$P = 0.36\text{MPa}$$

Altura de toriesférico

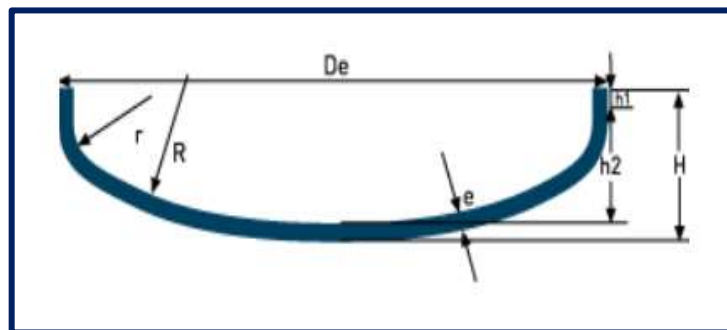


Figura 3.2 Toriesférico

Fuente: Código A.S.M.E. Sección VIII división 1

$$h_2 = 0.1935 \cdot D_e - 0.455 \cdot t \quad \text{Ecuación 3.12}$$

$$h_1 = 3.5 \cdot t \quad \text{Ecuación 3.13}$$

$$H = h_1 + h_2 + t \quad \text{Ecuación 3.14}$$

$$V_{\text{tori}} = 0.008089 \cdot D_{\text{inter}}^3 \quad \text{Ecuación 3.15}$$

$$V_T = V_{\text{cil}} + V_{\text{tori}} \quad \text{Ecuación 3.16}$$

Remplazando en la ecuación 3.12

$$h_2 = 0.1935 \cdot 219.1\text{mm} - 0.455 \cdot 5\text{mm}$$

$$h_2 = 40.12\text{mm}$$

Remplazando en la ecuación 3.13

$$h_1 = 3.5 \cdot 5\text{mm}$$

$$h_1 = 17.5\text{mm}$$

Remplazando en la ecuación 3.14

$$H = 17.5\text{mm} + 45.94\text{mm} + 5\text{mm}$$

$$H = 57.62\text{mm}$$

Volumen de toriesférico:

Inicialmente se calcula en parámetros, para poder calcular el volumen total.

$$V_{\text{tori}} = 0.008089 \cdot D_{\text{inter}}^3$$

$$V_{\text{tori}} = 0.008089 \cdot 0.0094\text{m}^3$$

$$V_{\text{tori}} = 7.6 \times 10^{-5} \text{m}^3$$

Volumen total del tanque:

Remplazando en la ecuación 3.16

$$V_T = 1 \times 10^{-3} \text{m}^3 + 7.6 \times 10^{-5} \text{m}^3$$

$$V_T = 1.07 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

Al volumen se lo incrementa un volumen extra de seguridad, el cual es un factor de seguridad por nivel de llenado. Este factor de seguridad significa que el reactor debe

trabajar a un volumen menor al volumen máximo del recipiente, se debe incrementar un 20% al volumen total.

$$\text{Volumen de seguridad} = 1.07 \times 10^{-3} \text{m}^3 \cdot 0.2$$

Volumen de seguridad = $2.15 \times 10^{-4} \text{m}^3$, Por lo cual se debe aumentar la altura del recipiente usando la ecuación 3.2.

$$h_{c2} = \frac{4 \cdot 2.15 \times 10^5 \text{mm}^3}{\pi(211.48 \text{mm})^2}$$

$$h_{c2} = 6.12 \text{mm}$$

Por tanto:

$$h_{c1} + h_{c2} + \text{alturacono de la tapa} + \text{altura de toriesferico}$$

$$170.82 \text{mm} + 6.12 \text{mm} + 65 \text{mm} + 57.62 \text{mm}$$

$$H_{\text{reactor}} = 299.56 \cong 300 \text{mm}$$

El reactor (cilindro) se maquinará a un altura $H_{\text{reactor}} = 300 \text{mm}$. Ver ANEXO 1 – plano Nro. 1.

Nota: Aunque el recipiente se encuentre correctamente cerrado, no se debe sobrepasar la capacidad de 1kg de desechos plásticos.

3.4 Selección del perno (brida principal)

El propósito del perno consiste en sujetar dos o más miembros o partes diversas de una misma máquina. Estos ensambles tienen como elementos arandelas, cuya función es mejorar la clase de ajuste.

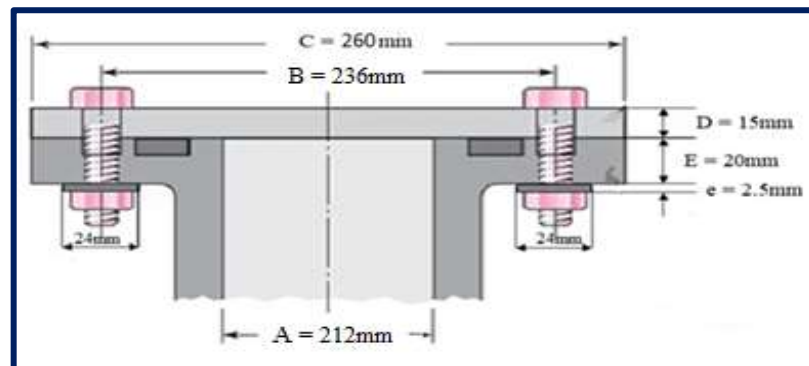


Figura 3.3 Fijación del reactor y tapa

Fuente: Elementos de máquinas Dr. Ing. Marcelo Tulio, Carga y compresión en el material y tensión en el perno.

Selección del perno paso grueso, ver ANEXO 9 – tabla 4.

Datos:

$$d_N = 12 \text{ mm}$$

$$p = 1.75 \text{ mm}$$

$$A_t = 84.3 \text{ mm}^2$$

Los datos de las resistencias, ver ANEXO 9 – tabla 5.

$$S_p = 830 \text{ MPa}$$

$$s_y = 660 \text{ MPa}$$

Donde:

$$d_N = \text{diámetro nominal}$$

$$p = \text{paso}$$

$$A_t = \text{área de esfuerzo a la tensión}$$

$$S_p = \text{resistencia de prueba mínima}$$

$$S_y = \text{resistencia de fluencia mínima a la tracción}$$

Precarga inicial del perno:

En primer lugar, se calcula la fuerza (carga) debida a la presión que debe soportar los pernos:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Donde:

$$\sigma = \text{presión de trabajo}$$

$$A = \text{área efectiva de trabajo}$$

$$P = \text{fuerza debida a la presión}$$

$$N = \text{número de pernos}$$

$$P' = \frac{P_{\text{total}}}{N} \quad \text{Ecuación 3.18}$$

$$P = \sigma \cdot A \quad \text{Ecuación 3.19}$$

$$P = \sigma \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$
$$P = 390 \text{ KN/m}^2 \cdot \frac{\pi \cdot (0.22556\text{m})^2}{4}$$

$$P = 15.58\text{KN}$$

Como el recipiente está sometido a presión interna, se asumirá 6 pernos de paso grueso, M12x1.75 y grado 8.8 para un proceso iterativo.

La fuerza aplicada a cada perno es:

Remplazando a la ecuación 3.18

$$P' = \frac{15.58\text{KN}}{6}$$

$$P' = 2.59 \text{ KN}$$

Se calculará la pretensión o precarga del perno, tomando en cuenta la junta reutilizable:

$$F_i = 0.75 \cdot S_p \cdot A_t \quad \text{Ecuación 3.20}$$

$$F_i = 0.75 \cdot 8.3 \times 10^5 \text{KN/m}^2 \cdot 8.43 \times 10^{-5} \text{m}^2$$

$$F_i = 52.48\text{KN}$$

Contaste rigidez del perno C:

$$C = \frac{K_b}{K_m + K_b} \quad \text{Ecuación 3.21}$$

En la siguiente figura 3.4 se observa al perno y sus respectivas longitudinales de la parte roscada y sin rosca.

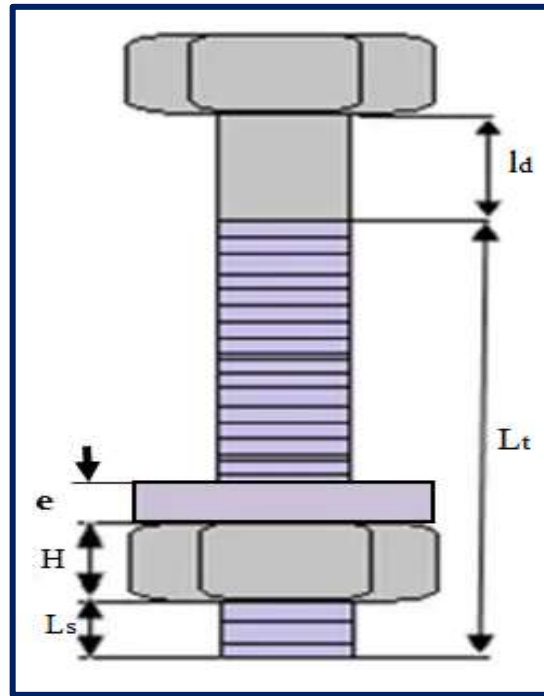


Figura 3.4 Perno (sujetador)

Fuente: Elementos de máquinas Dr. Ing. Marcelo Tulio, Carga y compresión en el material y tensión en el perno.

Los datos de la tuerca hexagonal, ver ANEXO 9 – tabla 6.

Ancho $W = 18\text{mm}$

Altura $H = 10.8\text{mm}$

La longitud del tornillo L

$$L = D + E + H + e + 2 \cdot \text{Paso} \quad \text{Ecuación 3.22}$$

$$L = 15\text{mm} + 20\text{mm} + 10.8\text{mm} + 2.5\text{mm} + 2 \cdot 1.75\text{mm} \quad L = 51.8\text{mm}$$

Longitud de la parte roscada L_t :

$$L_t = 2d + 6\text{m para } L \leq 125\text{mm y } D \leq 48\text{mm} \quad \text{Ecuación 3.23}$$

$$L_T = 2 * 12\text{mm} + 6\text{mm} \quad L_T = 30 \text{ mm}$$

Longitud de la parte sin roscar en el agarre l_d :

$$l_d = L - L_T \quad \text{Ecuación 3.24}$$

$$l_d = 51.8\text{mm} - 30\text{mm}$$

$$l_d = 21.8\text{mm}$$

Longitud de la parte roscada en el agarre l_t :

$$l_t = l - l_s \quad \text{Ecuación 3.25}$$

$$l_t = 35\text{mm} - 21.8\text{mm}$$

$$l_t = 15.7\text{mm}$$

El material del tornillo es de acero, cuyo módulo de elasticidad $E = 207\text{GPa}$.

Cálculo de la constante de rigidez del bulón k_b

$$k_b = \frac{A_d \cdot A_t \cdot E}{A_d \cdot l_t + A_t \cdot l_d} \quad \text{Ecuación 3.226}$$

$$A_t = 84.27 \text{ mm}^2$$

$$E = 207 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$A_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$A_d = \frac{\pi \cdot (12\text{mm})^2}{4}$$

$$A_d = 113.09\text{mm}^2$$

Remplazando en la ecuación 3.26

$$k_b = \frac{113.09\text{mm}^2 \cdot 84.27\text{mm}^2 \cdot 270000 \text{ N/mm}^2}{113.09\text{mm}^2 \cdot 15.7\text{mm} + 84.27\text{mm}^2 \cdot 21.8\text{mm}}$$

$$k_b = 7.12 \times 10^5 \text{ N/mm}$$

Cálculo rigidez de los materiales de la junta k_m :

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_{m1}} + \frac{1}{k_{m2}} + \frac{1}{k_{m3}} \quad \text{Ecuación 3.27}$$

$$k_m = \frac{0.577 \cdot \pi \cdot E \cdot d}{\ln \left[\frac{(1.155 \cdot e + D - d) \cdot (D + d)}{(1.155 \cdot e + D + d) \cdot (D - d)} \right]} \quad \text{Ecuación 3.28}$$

Para determinar el valor k_m :

Se considera módulo de elasticidad de las arandelas $E = 207000 \text{ N/mm}^2$

Módulo de elasticidad del reactor $E = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

Para desarrollar el problema se considera un ángulo de $\alpha = 30^\circ$

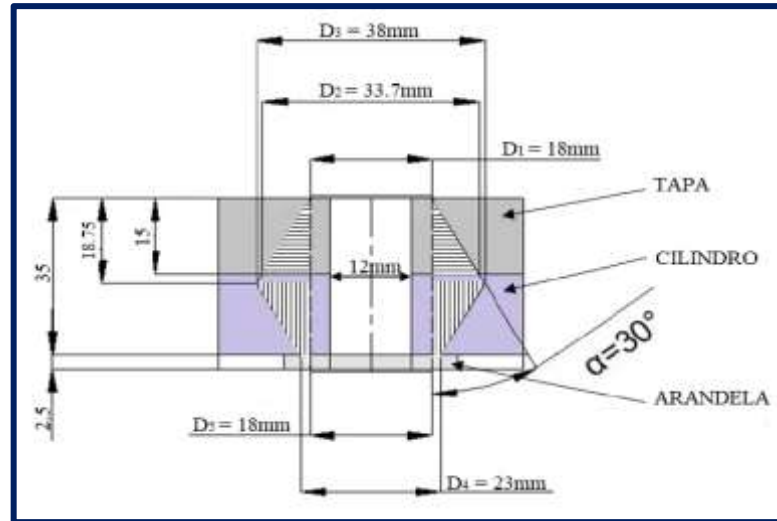


Figura 3.5 Cono de presión Rotscher

Fuente: Elementos de máquinas Dr. Ing. Marcelo Tulio, Carga y compresión en el material y tensión en el perno.

La rigidez individual de cada una se puede calcular como:

Cálculo rigidez respecto al D_1 , k_{m1} :

Remplazando en la ecuación 3.28

$$k_{m1} = \frac{0.577 \cdot \pi \cdot E \cdot d}{\ln \left[\frac{(1.155 \cdot e_1 + D_1 - d) \cdot (D_1 + d)}{(1.155 \cdot e_1 + D_1 + d) \cdot (D_1 - d)} \right]}$$

Datos:

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$D_1 = 1.5 \cdot d \rightarrow 1.5 \cdot 12 \text{ mm}$$

$$D_1 = 18 \text{ mm}$$

$$e_1 = 15\text{mm}$$

$$E = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{m1} = \frac{0.577 \cdot \pi \cdot 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 \cdot 12\text{mm}}{\ln \left[\frac{(1.155 \cdot 15\text{mm} + 18\text{mm} - 12\text{mm}) \cdot (18\text{mm} + 12\text{mm})}{(1.155 \cdot 15\text{mm} + 18\text{mm} + 12\text{mm}) \cdot (18\text{mm} - 12\text{mm})} \right]}$$

$$k_{m1} = 4.8 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

Cálculo rigidez respecto al D_2 , k_{m2} :

Remplazando en la ecuación 3.28

$$k_{m2} = \frac{0.577 \cdot \pi \cdot E \cdot d}{\ln \left[\frac{(1.155 \cdot e_2 + D_2 - d) \cdot (D_2 + d)}{(1.155 \cdot e_2 + D_2 + d) \cdot (D_2 - d)} \right]}$$

Datos:

$$D_2 = D_1 + 2 \cdot (l - h_2)$$

$$h_2 = 15\text{mm}$$

$$l_2 = h_2 + \frac{t_2}{2} \rightarrow 15\text{mm} + \frac{15.7\text{mm}}{2}$$

$$l_2 = 22.85\text{mm}$$

$$D_2 = 18\text{mm} + 2 \cdot (22.85\text{mm} - 18.75)$$

$$D_2 = 33.7\text{mm}$$

$$e_2 = 18.75\text{mm}$$

$$k_{m2} = \frac{0.577 \cdot \pi \cdot 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 \cdot 12\text{mm}}{\ln \left[\frac{(1.155 \cdot 18.75\text{mm} + 33.7\text{mm} - 12\text{mm}) \cdot (18.75\text{mm} + 12\text{mm})}{(1.155 \cdot 18.75\text{mm} + 33.7\text{mm} + 12\text{mm}) \cdot (18.75\text{mm} - 12\text{mm})} \right]}$$

$$K_{m2} = 3.9 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

Cálculo rigidez respecto al D_4 , k_{m3} :

Remplazando en la ecuación 3.28

$$k_{m3} = \frac{0.5774 \cdot \pi \cdot E \cdot d}{\ln \left[\frac{(1.155 \cdot e_3 + D_4 - d) \cdot (D_4 + d)}{(1.155 \cdot e_3 + D_4 + d) \cdot (D_4 - d)} \right]}$$

Datos:

$$D_4 = D_1 + 2 \cdot (l_3 - h_3)$$

$$h_3 = 15\text{mm} + 3.75\text{mm}$$

$$h_3 = 18.75\text{mm}$$

$$l_3 = 18.75\text{mm} + (20\text{mm}/2)$$

$$l_3 = 28.75\text{mm}$$

$$D_3 = 18\text{mm} + 2 \cdot (28.75\text{mm} - 18.75\text{mm})$$

$$D_3 = 38\text{mm}$$

$$D_4 = 18\text{mm} + 2 \cdot (2.5\text{mm})$$

$$D_4 = 23\text{mm}$$

$$e_3 = 16.25\text{mm}$$

$$k_{m3} = \frac{0.577 \cdot \pi \cdot 20 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 \cdot 12\text{mm}}{\ln \left[\frac{(1.155 \cdot 16.25\text{mm} + 23\text{mm} - 12\text{mm}) \cdot (23\text{mm} + 12\text{mm})}{(1.155 \cdot 16.25\text{mm} + 23\text{mm} + 12\text{mm}) \cdot (23\text{mm} - 12\text{mm})} \right]}$$

$$k_{m3} = 7.5 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

Cálculo rigidez respecto al D_5 , k_{m4} :

Remplazando en la ecuación 3.28

$$k_{m4} = \frac{0.577 \cdot \pi \cdot E \cdot d}{\ln \left[\frac{(1.155 \cdot e_4 + D_4 - d) \cdot (D_4 + d)}{(1.155 \cdot e_4 + D_4 + d) \cdot (D_4 - d)} \right]}$$

Datos:

$$D_5 = D_1 = 18\text{mm}$$

$$e_3 = 2.5\text{mm}$$

$$E = 207000 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{m4} = \frac{0.577 \cdot \pi \cdot 207000 \text{ N/mm}^2 \cdot 12\text{mm}}{\ln \left[\frac{(1.155 \cdot 2.5\text{mm} + 18\text{mm} - 12\text{mm}) \cdot (18\text{mm} + 12\text{mm})}{(1.155 \cdot 2.5\text{mm} + 18\text{mm} + 12\text{mm}) \cdot (18\text{mm} - 12\text{mm})} \right]}$$

$$k_{m4} = 1.5 \times 10^7 \text{ N/mm}$$

Remplazamos en la ecuación 3.27

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{4.8 \times 10^6 \text{ N/mm}} + \frac{1}{3.9 \times 10^6 \text{ N/mm}} + \frac{1}{7.5 \times 10^6 \text{ N/mm}} + \frac{1}{1.5 \times 10^7 \text{ N/mm}}$$

$$k_m = 1.5 \times 10^6 \text{ N/m}$$

Calculo la constante rigidez

Remplazando en la ecuación 3.21

$$C = \frac{7.12 \times 10^5 \text{ N/m}}{1.5 \times 10^6 \text{ N/m} + 7.12 \times 10^5 \text{ N/m}}$$

$$C = 0.3$$

Carga que soporta en perno P_b

$$P_b = C \cdot P \quad \text{Ecuación 3.29}$$

$$P_b = 0.3 \cdot 2.59 \text{ KN}$$

$$P_b = 0.78 \text{ KN}$$

Carga que soporta el material P_m

$$P_m = (1 - C)P \quad \text{Ecuación 3.30}$$

$$P_m = (1 - 0.3) \cdot 2.59 \text{ KN}$$

$$P_m = 1.81 \text{ KN}$$

Carga total en el perno F_b

$$F_b = F_i + P_b \quad \text{Ecuación 3.3123}$$

$$F_b = 52.48 \text{ KN} + 0.78 \text{ KN}$$

$$F_b = 53.26 \text{ KN}$$

Carga total en el material F_m

$$F_m = F_i + P_m \quad \text{Ecuación 3.32}$$

$$F_m = 52.48\text{KN} + 1.81\text{KN}$$

$$F_m = 54.29\text{KN}$$

Una vez obtenido las cargas, se calcula esfuerzo de tensión en el perno:

Esfuerzo tensión en el perno

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} \quad \text{Ecuación 3.3324}$$

$$\sigma_b = \frac{53.260\text{N}}{84.3\text{mm}^2}$$

$$\sigma_b = 631.79\text{MPa}$$

Factor de seguridad a la fluencia para verificar si el perno soporte estructuralmente n_y

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma_b} \quad \text{Ecuación 3.34}$$

$$n_y = \frac{660\text{MPa}}{631.79\text{MPa}}$$

$$n_y = 1.04$$

La carga requerida para separar las juntas brida es P_0

$$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)} \quad \text{Ecuación 3.3525}$$

$$P_0 = \frac{52.48\text{KN}}{(1 - 0.3)}$$

$$P_0 = 74.97\text{KN}$$

3.5 Calor necesario o calor de aporte

$$Q = \frac{T_i - T_{amb}}{\frac{1}{f_{aire}(2\pi r_e H)} + \frac{\ln \frac{r_e}{r_i}}{2\pi k_{acero} H}} \quad \text{Ecuación 3.36}$$

Donde:

T_i = Temperatura del interior del tanque [°C]

T_{amb} = Temperatura del ambiente [°C]

r_e = radio exterior [mm]

r_i = radio interior [mm]

H = Altura del tanque [mm]

K = Conductividad térmica del acero W/m^2K

F_{aire} = Coeficiente de transferencia del calor por convección del aire W/m^2K

Datos:

$T_i = 555^\circ C$

$T_{amb} = 20^\circ C$

$r_e = 0.109m$

$r_i = 0.105m$

$H = 0.3m$

$K = 58 W/m^2^\circ C$

$F_{aire} = 20 W/m^2^\circ C$

Remplazando en la ecuación 3.36

$$Q = \frac{550^\circ C - 20^\circ C}{\frac{1}{20 W/m^2^\circ C (2 \cdot \pi \cdot 0.109m \cdot 0.3m)} + \frac{\ln \frac{0.109m}{0.105m}}{2 \cdot \pi \cdot 58 W/m^2^\circ C \cdot 0.3m}}$$

$$Q = 2170W = 2.170KW$$

3.6 Elaboración de planos

Los planos se lo realizaron en el software de diseño “SolidWorks Premiun 2017” los cuales son mostrados en ANEXO 1 de este documento.


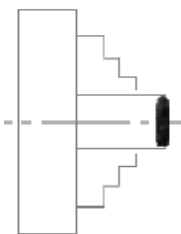
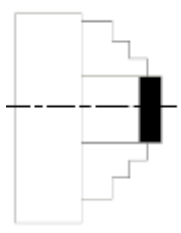
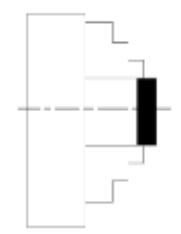
En la siguiente tabla indica la numeración de los respectivamente para cada pieza y componente del prototipo.

Nro.	Nro. de Plano	Descripción	Nro. de Elementó
–	1	Reactor de pirólisis	
1	2	Reactor de pirólisis vista principal	
2	3	Estructura principal	1 – 2
3	4	Puerta derecha e izquierda	5
4	5	Tapas laterales derecha e izquierda	8
5	6	Chapa superior	10
6	7	Estructura de soporte y sujeción filtro	11 – 12
7	8	Filtro	13
8	9	Tapa del filtro	15
9	10	Tapa y conducto inferior de contenedor húmedo	16 – 17
10	11	Tapa conducto superior de contenedor húmedo	19 – 20
11	12	Contenedor húmedo	21
12	13	Conductos de reactor y contenedor	22 – 23
13	14	Tapa del reactor	25
14	15	Reactor	27

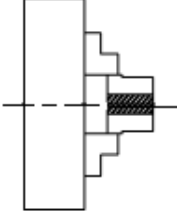
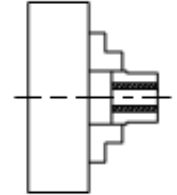
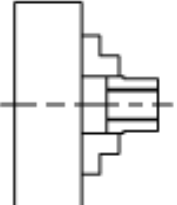
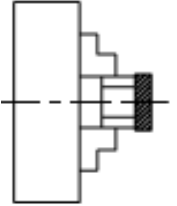
3.7 Elaboración de proceso de construcción

El proceso se realizó en base a planos y hojas de especificación de proceso para cada pieza.

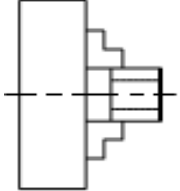
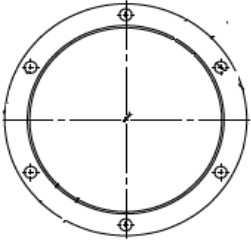

Los números de planos que no estén en la elaboración de procesos de construcción son adquiridos en el mercado, debido que es recomendable comprar que construirlos debido a los costos y tiempos de trabajos.

MAQUINADO DEL REACTOR – PLANO 15				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado	-----	-----	-----	Gramil, calzos en v
Corte con amoladora		-----	-----	Disco de corte abrasivo 9"
Montaje de la pieza en el torno y refrentado de ambas caras del eje.		30	400	Gramil, útil de herramienta DIN 4972
Centrado y alineado mordazas independientes		-----	-----	Gramil
Refrentado		30	400	Útil de herramienta DIN 4972

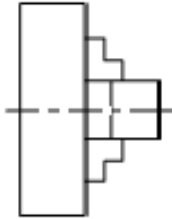
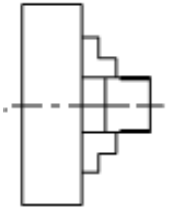
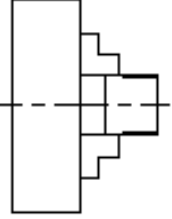
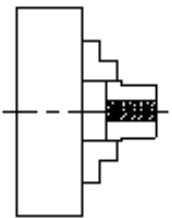
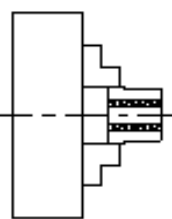
MAQUINADO DEL REACTOR – PLANO 15

Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Perforado para centrar		20	90	Broca de centro, broca HSS Ø6mm, 12mm, 20mm
Torneado interior (desbaste)		22	140	Útil de torneado interior DIN 4974
Torneado interior (afinado)		26	165	Útil de torneado interior DIN 4974
Refrentado		22	100	Útil de refrentar y cilindrar DIN 4972

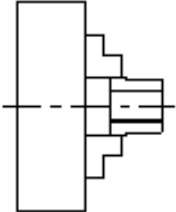
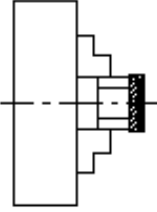
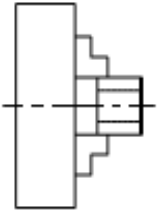
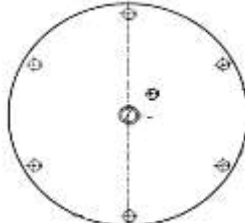

MAQUINADO DEL REACTOR – PLANO 15

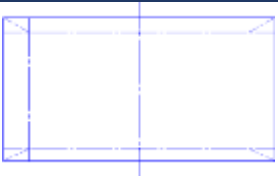
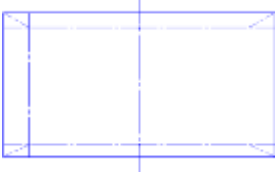


Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Refrentado (afinado)		28	160	Útil de refrentar y cilindrar DIN 4972
Trazado, perforaciones		-----	-----	Compas, regla, granete, martillo. Taladro de mesa broca Ø6mm,12mm
Ensamble de piezas		-----	-----	Soldadura eléctrica, electrodo KST- 316

MAQUINADO TAPA DEL REACTOR – PLANO 14

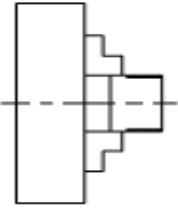
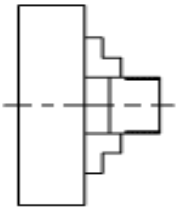
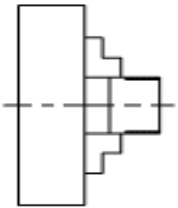
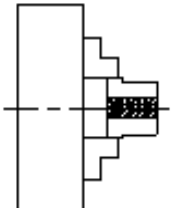
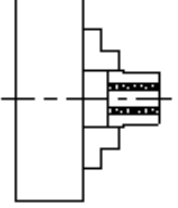
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Montaje de la pieza en el torno, Refrentado		22	100	Útil de refrentar DIN 4972
Montaje de la pieza en el torno, cilindrado (desbaste)		22	100	Útil de refrentar y cilindrar DIN 4972
Montaje de la pieza en el torno, Cilindrado (afinado)		26	120	Útil de refrentar y cilindrar DIN 4972
Perforado para centrar		20	90	Broca de centro, broca HSS Ø6mm, 12mm, 20mm
Torneado interior (desbaste)		22	140	Útil de torneado interior DIN 4974

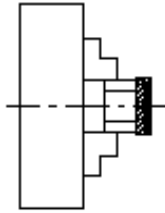
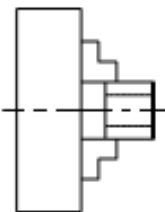
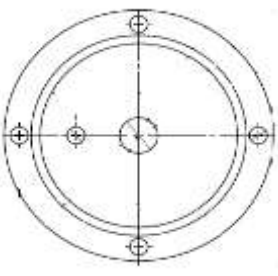

MAQUINADO TAPA DEL REACTOR – PLANO 14

Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Torneado interior (afinado)		26	165	Útil de torneado interior DIN 4974
Refrentado		22	100	Útil de refrentar y cilindrar DIN 4972
Refrentado (afinado)		28	160	Broca HSS 8, 12, 16, 19mm respectivamente
Trazado		----	----	Regla, escuadra, granete, martillo
Perforado		15	230	Taladro de banco, broca Ø1/4", 1/2", 12mm

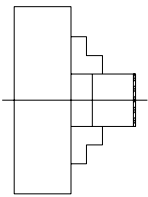
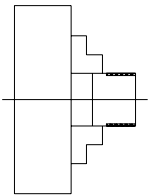
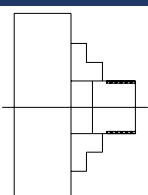
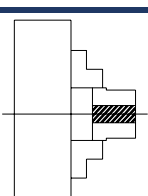
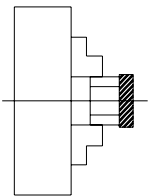
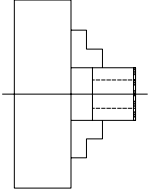
COBERTURA DEL REACTOR – PLANO 3				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado		----	----	Rayador, regla, escuadra
Cortado		----	----	Guillotina
Cilindrado		----	----	Cilindradora manual
Soldadura		----	----	Soldadura eléctrica, electrodo E6013

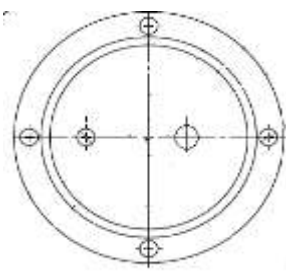

MAQUINADO TAPA SUPERIOR (contenedor húmedo) – PLANO 11


Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Montaje de la pieza en el torno, refrentado		22	100	Útil de refrentar DIN 4978
Montaje de la pieza en el torno, cilindrado (desbaste)		22	100	Útil de refrentar y cilindrado DIN 4972
Montaje de la pieza en el torno, cilindrado (afinado)		26	120	Útil de refrentar y cilindrado DIN 4972
Perforado para centrar		20	90	Broca de centro, broca HSS Ø6mm, 12mm, 20mm
Torneado interior (afinado)		26	165	Útil de torneado interior DIN 4974


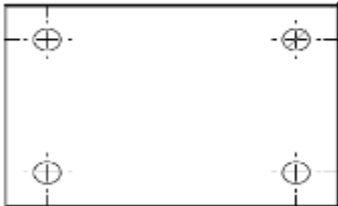

MAQUINADO TAPA SUPERIOR (contenedor húmedo) – PLANO 11				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Refrentado		22	100	Útil de refrentar y cilindrar DIN 4972
Refrentado (afinado)		28	160	Útil de refrentar y cilindrar DIN 4972
Trazado, perforado		-----	-----	Compas, regla, rayador, granete, martillo.
Perforado		-----	-----	Taladro de banco, broca Ø10mm

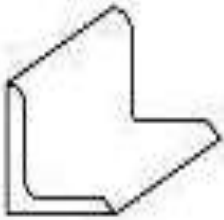
MAQUINADO TAPA INFERIOR (contenedor húmedo) – PLANO 10

Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Montaje de la pieza en el torno, refrentado		22	100	Útil de refrentar DIN 4978
Montaje de la pieza en el torno, cilindrado (desbaste)		22	100	Útil de refrentar y cilindrar DIN 4972
Montaje de la pieza en el torno, cilindrado (afinado)		26	120	Útil de refrentar y cilindrar DIN 4972
Perforado para centrar		20	90	Broca de centro, broca HSS Ø6mm, 12mm, 20mm
Refrentado		22	100	Útil de refrentar y cilindrar DIN 4972
Refrentado (afinado)		28	160	Útil de refrentar y cilindrar DIN 4972

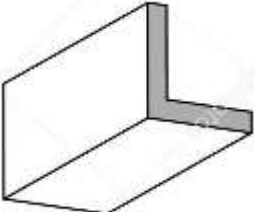

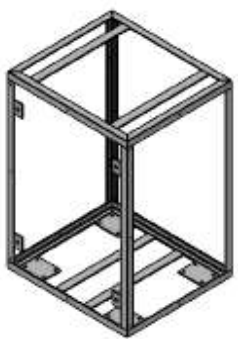
MAQUINADO TAPA INFERIOR (contenedor húmedo) – PLANO 10				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado		-----	-----	Compas, rayador, regla, granete, martillo
Perforado		-----	-----	Taladro de banco, broca Ø7mm, 10mm, 13mm

MAQUINADO BASE PARA LAS RUEDAS – PLANO 3				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado		-----	-----	Rayador, compas, regla, escuadra, granete

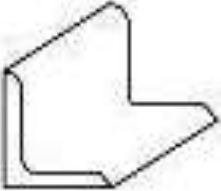
MAQUINADO BASE PARA LAS RUEDAS – PLANO 3				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Corte		----	----	Amoladora disco 9”
Afinando en el esmeril		----	----	Esmeril de mesa vertical
8 pieza		----	----	Escuadra, taladro de banco y broca HSS Ø6.5mm

CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURA IZQUIERDA – PLANO 3				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado perfil angular		----	----	Rayador, flexómetro, escuadra

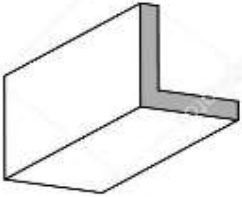

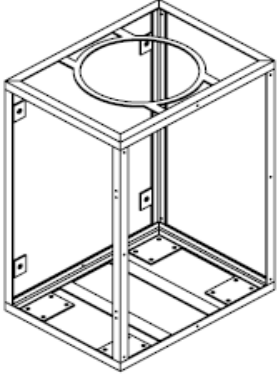
CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURA IZQUIERDA – PLANO 3

Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Corte perfil angular		----	----	Amoladora disco de corte 9” Esmeril de mesa vertical
Trazado pletina		----	----	Rayador, flexómetro, escuadra
Unión de piezas		----	----	Escuadra y soldadura eléctrica E6013.

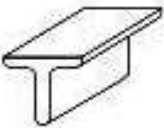
CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURA – PLANO 3

Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado perfil angular		----	----	Rayador, flexómetro, escuadra

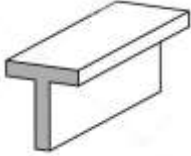

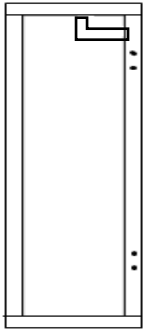

CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURA – PLANO 3

Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Corte perfil angular		----	----	Amoladora disco de corte 9” Esmeril de mesa vertical
Trazado pletina		----	----	Rayador, flexómetro, escuadra
Unión de piezas		----	----	Escuadra y soldadura eléctrica E6013.

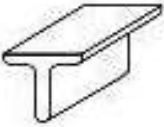
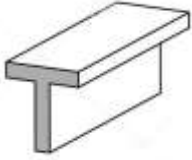

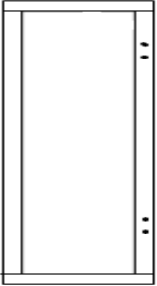

CONSTRUCCIÓN DE LA PUERTA IZQUIERDA – PLANO 4




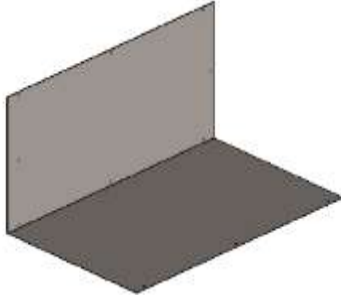
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado perfil angular		----	----	Rayador, flexómetro, escuadra

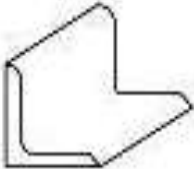
CONSTRUCCIÓN DE LA PUERTA IZQUIERDA – PLANO 4

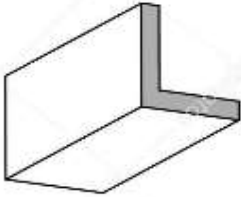


Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Corte perfil angular		----	----	Amoladora disco de corte 9” Esmeril de mesa vertical
Trazado pletina		----	----	Rayador, flexómetro, escuadra
Unión de piezas		----	----	Taladro de mesa broca HSS Ø3mm, escuadra y soldadura eléctrica E6013.
Ensamble, chapa		----	----	Taladro de mesa broca Ø3mm, 20mm, cizalla manual con banca, remachadora, remaches

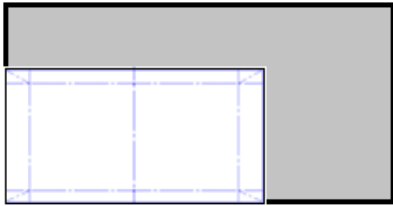

CONSTRUCCIÓN DE LA PUERTA DERECHA – PLANO 4

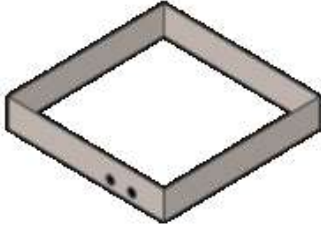
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado perfil angular		----	----	Rayador, flexómetro, escuadra
Corte perfil angular		----	----	Amoladora disco de corte 9” Esmeril de mesa vertical
Trazado pletina		----	----	Rayador, flexómetro, escuadra
Unión de piezas		----	----	Taladro de mesa broca HSS Ø3mm, escuadra y soldadura eléctrica E6013.
Ensamble, chapa		----	----	Taladro de mesa broca Ø3mm,20mm, cizalla manual con banca, remachadora, remaches

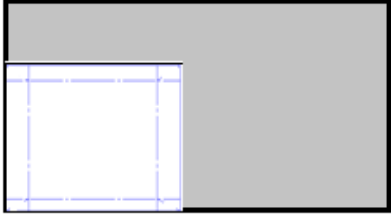
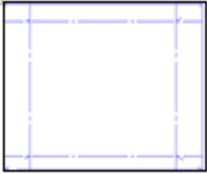

CONSTRUCCIÓN TAPA LATERAL – PLANO 5				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado		----	----	Rayador, flexómetro, regla, escuadra.
Corte		----	----	Cizalla manual con banca
Trazado		----	----	Rayador, flexómetro, regla, escuadra
Perforado, plegado (2 piezas)		----	----	Taladro de banco y broca HSS Ø3mm Plegado de chapa

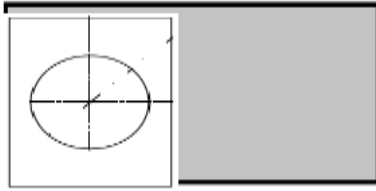
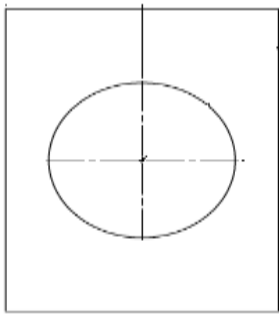
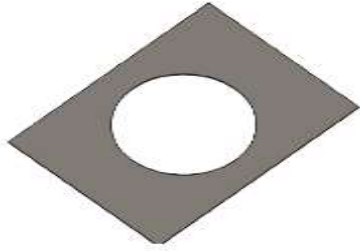
ESTRUCTURA DE SOPORTE (contenedor húmedo y filtro) – PLANO 7				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado perfil angular		----	----	Rayador, flexómetro, escuadra

ESTRUCTURA DE SOPORTE (contenedor húmedo y filtro) – PLANO 7				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Corte perfil angular		----	----	Amoladora disco de corte 9” Esmeril de mesa vertical
Trazado pletina		----	----	Rayador, flexómetro, escuadra
Unión de piezas		----	----	Taladro de mesa broca HSS Ø10mm, escuadra y soldadura eléctrica E6013.

ESTRUCTURA DE LA CHAPA 29x29 – PLANO 6				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado		----	----	Rayador, regla, flexómetro, escuadra.
Cortado, afinado en esmeril		----	----	Cizalla manual con banca, esmeril de mesa vertical

ESTRUCTURA DE LA CHAPA 29x29 – PLANO 6				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Taladrado, soldadura		-----	-----	Taladro de mesa broca HSS Ø15mm, plegadora manual, escuadra y soldadura eléctrica E6013

ESTRUCTURA DE LA CHAPA SUPERIOR IZQUIERDO 29x29 – PLANO 6				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado		-----	-----	Rayador, regla, flexómetro, escuadra.
Cortado		-----	-----	Cizalla manual con banca
Afinado en esmeril		-----	-----	Esmeril de mesa vertical

ESRUCTURA DE LA CHAPA SUPERIOR DERECHO – PLANO 6				
Operación	Croquis	Vc m/min	rpm	Herramienta
Trazado		----	----	Rayador, regla, flexómetro, escuadra.
Cortado		----	----	Cizalla manual con banca
Afinado en esmeril		----	----	Esmeril de mesa vertical

3.8 Construcción del Prototipo

En esta sección se informará sobre el proceso de fabricación de las piezas requeridas, las cuales se realizaron bajo las hojas de proceso y planos correspondientes descritos anteriormente.

3.8.1 Preparación de herramientas de torneado

Las diferentes herramientas de corte se utilizaron en función a las operaciones a realizar en el torneado, se utilizó cada uno de los útiles con la norma DIN para las

herramientas de pastillas de carburo de tungsteno. Estos útiles son denominados de la siguiente manera:

DIN4972 Útil de refrentar y cilindrar, DIN 4974 útil para refrentar interiores.

Reactor, tapa del reactor (Pieza Nro. 25, 27 – Plano 14,15)

Se ha realizado con respecto a la hoja de proceso y al plano correspondiente, las cuales fueron realizados de acuerdo a los parámetros que se calcularon con la norma A.S.M.E. Código VIII División 1, ver tabla 3.5. Se procedió a soldar el cilindro con el toriesférico con una máquina de corriente alterna con el electrodo KST-316 de 3.20mm, finalmente se procedió a soldar la brida con una máquina de corriente alterna, con el electrodo revestido KST-316 de 3.20mm, ver ANEXO 3.

Pernos para afirmar la tapa y brida

Se selecciono perno, ver tabla 3.6 el para afirmar la tapa y bridas para el almacenamiento de desechos plásticos, ver ANEXO 9 – tabla 3.5.

	Diámetro Exterior D [mm]	Diámetro Interior D [mm]	Espesor t [mm]	Altura H[mm]	Presión P MPa	Volumen m³
Cilindro	219.1	211.58	3.76	267.54	0.39	7×10^{-3}
Brida	260	211.58	-----	20	-----	-----
Toriesférico	221.58	211.58	5	57.62	0.36	7.6×10^{-5}
Tapa	260	-----	-----	15	0.43	-----
Total	-----	-----	-----	471	-----	7.07×10^{-3}

Tabla 3.5 Resultados del Reactor
Fuente: Elaboración Propia

Características del Perno M12 clase 10.9	
Ancho de la cabeza	18mm
Alto de la cabeza	10.8mm
Longitud del perno	51.8mm
Diámetro nominal	12mm
Material de fabricación	Acero Módulo de elasticidad 207MPa

Tabla 3.6 Características y Propiedades de los Elementos de Unión

Fuente: Elaboración Propia

Ensamble (conducto) de reactor al contenedor húmedo (Pieza 23 – Plano 13)

Se realizó con respecto al plano correspondiente a esta pieza.

Del reactor se realiza la conexión al contenedor húmedo por la parte superior mediante un tubo NPS 3/4" SCH 10 (26.7mm) que permite el desplazamiento de los gases que va en dirección al contenedor húmedo.

Cobertura del Reactor (Pieza 2 – Plano 3)

Se realizó con respecto a la hoja de proceso y plano correspondiente a esta pieza, ver ANEXO 5.

La cobertura se realizó partiendo de una chapa ASTM A36 con un área $A=287616.81\text{mm}^2$ y un espesor $e=3\text{mm}$, para realizar el tronco cónico se utilizó en una cilindadora manual.

Contenedor húmedo (cilindro) (Pieza 21 – Plano 12)

Se realizó con respecto a la hoja de proceso y plano correspondiente a esta pieza, ver ANEXO 7.

Punto a destacar el cilindro es de material PP polietileno de baja densidad.

Tapas del contenedor húmedo (Pieza 17,20 – Plano 10,11)

Se realizó con respecto a la hoja de proceso y plano correspondiente a esta pieza, ver ANEXO 6.

Punto a destacar las tapas son de material PTFE politetrafluoroetileno (teflón) se trabajó entre puntos en el torno.

Ensamble (conducto) del contenedor húmedo al filtro (Pieza 22 – Plano 13)

Se realizó con respecto a la hoja de proceso y plano correspondiente a esta pieza.

Del reactor se realizó la conexión al contenedor húmedo por la parte superior mediante un tubo NPS ½” SCH 10 (21.3mm) que permitirá el desplazamiento de los gases, a la vez existe un tubo de 1/8” SCH 10 (10.29mm) que permite desplazarse los gases restantes al filtro.

Conducto superior del contenedor húmedo (ingresa el gas) (Pieza 19 – Plano 11)

Se realizó con respecto a la hoja de proceso y plano correspondiente a esta pieza.

Punto a destacar se seleccionó el material ASTM A516 NSP 3/4” SCH10.

Filtro (Pieza 13 – Plano 8)

Se realizó con respecto a la hoja de proceso y plano correspondiente a esta pieza.

Punto a destacar se seleccionó el material ASTM A516 NPS 3” SCH5, ver ANEXO 9, tabla 1.

Tapa del filtro (Pieza 15 – Plano 9)

Esta pieza se fabricó con respecto a la hoja de proceso y plano correspondiente a esta pieza.

Punto a destacar se realizaron 11 perforaciones de diámetros 8mm.

Estructura (Pieza 2 – Plano 3)

Se realizó con respecto a la hoja de proceso y plano correspondiente a esta pieza, ver ANEXO 8.

La estructura se realizó partiendo de una barra de perfil L ASTM A36 de 20x20x2.0mm. Los cortes de las diferentes partes se la realizo con una sierra circular, esto debido a la factibilidad y precisión al cortar, lo cual facilita el trabajo y reduce el tiempo de ejecución.

En el respectivo ensamblaje se controló la deformación por causa de la dilatación y contracción de la soldadura prensado cada parte a soldar, esto con la finalidad de evitar la distorsión de las medidas de la estructura expresada en los planos correspondientes.

La soldadura fue realizada con electrodos E6013 en una máquina de corriente continua. Se recubrirá la estructura con chapa ASTM A36 con espesor 0.50mm.

Puertas izquierda y derecha (Pieza 5 – Plano 4)

Se realizó con respecto a la hoja de proceso y plano correspondiente a esta pieza ver ANEXO 8.

La estructura se realizó de una barra de perfil L ASTM A 36 de 20x20x2.0mm. Los cortes de las diferentes partes se lo realizo con cierra circular, esto debido a la finalidad y precisión al realizar el corte, lo cual facilita el trabajo y reduce el tiempo de ejecución.

En el respectivo ensamblaje se controló la deformación por causa de la dilatación y contracción de la soldadura prensado cada parte a soldar, esto con la finalidad de evitar la distorsión de las medidas de la estructura expresada en los planos correspondiente.

La soldadura fue realizada con electrodo E 6013 en una máquina de corriente continua. Se recubrirá la estructura con chapa ASTM A 36 con respecto 0.50mm.

COSTOS

4.1 Costos del prototipo

El costo de un reactor de pirólisis a escala de laboratorio para la obtención de combustible a partir de desechos plásticos, comprende de materiales, los cuales fueron usados para la realización del prototipo se resume en la siguiente tabla 4.1, donde se muestran la descripción:

4.1.1 Costo de materiales

El costo de materiales, los cuales fueron usados para la construcción del prototipo se puede resumir en la siguiente tabla 4.1, donde se muestra la cantidad, el costo por unidad y costo total.

Nro.	MATERIALES	CAN Por PIEZA	UNID.	mm LINEAL	VOLUME y AREA	CAN	En 500mm Bs.	P. U. Bs.	COSTO Bs.
REACTOR									
1	Tubo ASTM A516 Gr70 NPS 8" SCH10 (cuerpo cilindro)	1	mm	500		1	300	300	300
2	Plancha ASTM A570 Gr36 Ø260mm x 10mm (brida)	1	mm ²		53092	107	2.81	2.81	300.67
3	Toriesférico volumen 7.6x10 ⁻⁵ m ³	1	m ³		7.6X10 ⁻⁵	1		500	500
4	Plancha ASTM A570 Gr36 Ø260mm x 15mm (tapa)	1	mm ²		53092	107	2,81	2.81	300.67
5	Plancha ASTM A570 Gr36	1	mm ²		13715	27	4	4	108

Nro.	MATERIALES	CAN Por PIEZA	UNID.	mm LINEAL	VOLUMEN y AREA	CAN	En 500mm Bs.	P. U. Bs.	COSTO Bs.
6	Tubo ASTM A516 Gr 70 NPS 3/8" SCH10 (cuerpo cilindro)	1	mm	50		0,1	50	50	5
COMCUCTOS									
7	Tubo ASTM A516 Gr70 NPS 3/4" SCH10 (reactor al contenedor húmedo)	1	mm	650		1.3	40	40	52
8	Tubo PVC Ø1/2" (contenedor húmedo al filtro)	1	mm	546		1.09	3,5	3.5	3.815
CONTENEDOR HÚMEDO									
9	Tubo PP Ø115mm x 220mm x 2.5mm (cilindro)	1	mm	220		0.45	450	450	202.5
10	Pieza PTFE Ø150mm x 10mm (tapas del contenedor húmedo)	2	mm ²		17671	36	2,7	5.4	194.4
11	Tubo ASTM A516 Gr70 1/2" SCH10	1	mm	160		0.1	65	65	6.5
12	Tubo ASTM A516 Gr70 NPS 1/8" SCH10	1	mm	20		0.04	55	55	2.2
FILTRO									
13	Plancha ASTM A516 Ø106mm x 2mm (tapa)	1	mm ²		212	1	220	220	220
14	Tubo ASTM A516 Gr70 NPS 3" 1/2" SCH5 (cilindro)	1	m	150		0.3	200	200	60
15	Tubo ASTM A516 Gr70 NPS 1/8" SCH10	1	mm	20	20	0.05	30	30	1.5

Nro.	MATERIALES	CAN Por PIEZA	UNID.	mm LINEAL	VOLUMEN y AREA	CAN	En 500mm Bs.	P. U. Bs.	COSTO Bs.
ESTRUCTURA DE SOPORTE									
16	Perfil angular ASTM A36 3/4" x 3/4" x 1/8"	1	mm	1328		2.65	21	21	55.65
17	Pletina ASTM A36 3/8" x 1/8"	1	mm	670	670	1.34	12,52	12,5 2	16.7768
ESTRUCTURA PRINSIPAL									
18	Perfil Angular ASTM A36 20mm x 20mm x 3mm	2	mm	6000		12	10.5	21	252
19	Pancha ASTM A570 A36 65mm x 45mm x 4mm (para las ruedas)	8	mm ²		2925	5.9	3	24	141.6
20	Pletina 20mm x 3mm	1	mm	1140		2.5	12	12	30
21	Plancha ASTM A570 A 36 Ø219mm x 301mm x 2mm (cobertura del reactor)	1	mm ²		985.86	1.97	33	33	65.01
22	Perfil Angular ASTM A36 10mm x 10mm x 2mm (puertas)	2	mm	1560		3.12	10.5	21	65.52
23	Plancha ASTM A570 A36 520mm x 260mm x 0,5mm (puertas)	2	mm ²		67600	135.5	1.5	3	406.5
24	Plancha ASTM A570 A36 1451mm x 560mm x 0.5mm	1	mm ²		81256	135.5	6.2	6,2	700
TOTAL									3,990.311

Nº	MATERIALES INDIRECTOS	UNID.	CANT.	P. U.	COSTO Bs.
1	Disco de corte Ø9"	pieza	1	22	22
2	Codo 90° de 1/4" ASTM 304	pieza	2	35	70
3	Unión universal ASTM 304 3/4"	pieza	2	37.5	75
4	Controlador AKO 14721 200V hasta 600°C	°C	1	219.4	2194
5	Sonda PT 100 AKO 14721		1	44.66	44.66
6	Manómetro	MPa	1	220	220
7	Carbón activado	paquete	1	49	49
8	Pernos M12 – 1.75 x 55	pieza	6	5	30
9	Tuerca M12 x1.75	pieza	6	1.2	7.2
10	Arandelas M12	pieza	6	0.31	1.86
11	Varilla M10 – 1.5 x 250	pieza	4	20.4	81.6
12	Arandelas M10	pieza	4	0.31	1.24
13	Tuerca mariposa M10 x 1.75	pieza	4	120	480
14	Tornillo M4 – 0.7 x 20	pieza	4	1	4
15	Rueda de goma, Giratoria 50 x 17	pieza	8	25	200
16	Manguera transparente PVC trenzada de 1/2"	Cm	60	4.5	270
17	Grifo de plástico 1/4"	pieza	2	15	30
18	Pintura anticorrosiva	pieza	1	50	50
19	Remaches tipo POP 3 x 2mm	pieza	70	0.2	14
20	Botellón de GLP 22.4 litros	pieza	1	272.5	272.5
21	Electrodo 6013 kilo	pieza	2	18	36
22	Electrodo revestido KST - 316 de 3,20mm kilo	pieza	0,5	130.8	65.4
23	Gastos indirectos				150
TOTAL					2,393.86

Tabla 4.1 Costo de los materiales

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2 Tiempos de trabajo

Los tiempos y costos de trabajo, serán considerados aquellas piezas que fueron construidos, lo cual serán mostrados en la siguiente tabla 4.2 donde se muestra la cantidad, el tiempo por unidad, el costo por unidad, el costo total.

DESCRIPCIÓN	PERSONAL	RENDI	DÍAS DE TRABAJO	TIEMPO TOTAL DE HORAS	COSTO DEL RENDI
Diseñando máquina en SolidWorks	1	8	10	80	1200
Estructura principal	1	24	3	72	450
Cobertura del reactor	1	8	1	8	150
Puerta izquierda	1	8	1	8	150
Puerta derecha	1	8	1	8	150
Tapa lateral izquierda	1	8	1	8	150
Tapa lateral derecha					
Chapa 290x260mm	1	8	1	8	150
Chapa superior 1	1				
Chapa superior 2	1				
estructura de soporte	1	8	1	8	150
sujeción del filtro	1	2	0.25	0.5	37.5
Filtro	1	8	1	8	150
Tapa del filtro	1	8	1	8	150
Conducto salida de aceite	1	12	1.5	18	225
Tapa inferior	1				
Tapa superior	1	12	1.5	18	225
Conducto del contenedor	1				
Conducto del reactor	1	12	1.5	18	225
Tapa del reactor	1				
Reactor	1	16	2	32	300
Gastos indirectos					100
				TOTAL	3,962.5

Tabla 4.2 Tiempos de trabajo

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 Costo del prototipo

De acuerdo con los cálculos de costos de los materiales y los costos de tiempos de trabajo que se realizaron en la máquina, mostramos a continuación el precio estimado del prototipo tabla 4.3.

COSTOS	
DEL MATERIAL	3,990.31
DE MATERIALES INDIRECTAS	2,393.86
TIEMPOS DE TRABAJO	3,962.50
TOTAL	10,346.67

DIFERENCIA DE COSTO	
MÁQUINA BLEST	48,369.00
REACTOR DE PIRÓLISIS A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLE A PARTIR DE DESECHOS PLÁSTICOS	10,346.67
LA DIFERENCIA DE COSTO DE LA MÁQUINA BLETS Y EL PROTOTIPO REACTOR DE PIRÓLISIS	38,022.33

4.1.4 Análisis de costo de producción

La máquina Blest durante el proceso tarda de tres horas (3h) de un kilogramo (1Kg) de desecho plástico que llega a una potencia de 2.170 Kw. En la actualidad, la tarifa que se cobra por el consumo eléctrico en la ciudad de La Paz – Bolivia es de Bs. 0.91 por kilovatio – hora.

3 HORA Bs/Kg	8 HORAS (1 DÍA) Bs/Kg	1 SEMANA Bs/Kg	1 MES Bs/Kg
5.924	47.392	331.744	1.326

Tabla 4.3 Costo de energía necesaria de la maquina Blest

Fuente: Elaboración Propia

Nuestro prototipo a escala laboratorio durante el proceso tarda una hora (1h) de un kilogramo (1Kg) de desecho plástico que llega a una potencia de 2.170Kw. En el departamento de La Paz – Bolivia un botellon de GLP es de Bs. 22.50, de tal forma se utilizara 15 botellones de GLP. Ver tabla 4.5

COSTOS Bs.		
MÁQUINA BLEST	1 mes	1,326
PROTOTIPO A ESCALA LABORATIRIO	1 mes	337.5
DIFERENCIA DE COSTOS	1 mes	988.5

Tabla 4.4 Comparación de energía prototipo entre Blest

Fuente: Elaboración Propia

Por un kilogramo se genera aproximadamente un litro de combustible aprovechable (gas oíl). Según la Agencia Nacional de Hidrocarburos, el precio de venta de combustible gasoil está establecido en 1.10 bolivianos litro (Bs./L).

TIPO DE COMBUSTIBLE	COSTO Bs./L
PLÁSTICO OÍL	1
GAS OÍL	1.10
DIFERENCIA DE PRECIO	0.10

Tabla 4.5 Comparación – Precios de venta plástico oíl vs gas oíl

Fuente: Elaboración Propia

4.1.5 Análisis de impacto ambienta

Características de desechos plásticos en Bolivia.

La ciudad de La Paz – Bolivia genera 42,87 toneladas a la semana de desechos plásticos por tanto 6410 kilogramos al día. Los desechos plásticos son depositados en rellenos sanitarios o botaderos a cielo abierto, corresponde aquellos que están fabricados a partir de PP, PE y PS.

Se dispondría de 6410 kilogramos de materia prima para nuestro reactor, equivalente a 6410 litros de combustible.

- **Impacto ambiental**

La capacidad del prototipo del reactor es de 1 kilogramo (su uso puede considerarse, para pruebas de caracterización a escala laboratorio o para uso doméstico).

De acuerdo a las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística (INE) según la ciudad de La Paz – Bolivia tiene 3023800 de habitantes. Entonces:

$$\text{Materia prima disponible por cápita} = \frac{6410 \text{ Kg}}{2721420}$$

$$\text{Materia prima disponible por cápita} = 0.024 \text{ Kg}$$

Número de personas a las que cada reactor ayudaría:

$$\text{Nro. de personas} = \frac{1 \text{ persona} \cdot 1 \text{ Kg}}{0.024 \text{ Kg}} = 41 \text{ personas}$$

Cada prototipo ayudara a eliminar los desechos plásticos generados por 41 personas. El equipo está en condiciones de procesar en 4 lotes de desechos plásticos al día. Entonces, el número total de personas que podrían eliminar sus desechos plásticos generados diariamente es de 164.

5.1 Conclusiones

Se logro construir un reactor tipo batch para el Instituto de Investigaciones y Aplicaciones Tecnológicas de la Facultad de Tecnología.

Se construyó el equipo para el proceso de pirólisis, es capaz de trabajar a temperaturas de 550°C y una presión de 0.39MPa.

Los cálculos efectuados permitieron obtener resultados satisfactorios en las pruebas de funcionamiento, lo cual demuestra que una consideración matemática basada en la construcción al momento de dimensionar el prototipo es completamente necesaria y sustancial.

El costo del prototipo es de Bs. 10,346 obteniendo un precio relativamente accesible para el usuario y competitivo en el mercado, ya que comercialmente el valor mínimo de un reactor de pirólisis que se encuentra en el Instituto de Investigaciones y Aplicaciones Tecnológicas (I.I.A.T.) de la Facultad de Tecnología es de Bs. 48,369 sin embargo, no existen proveedores en el país.

El costo del combustible que se obtendrá a partir del proceso de pirólisis será rentable, comparando con el precio de venta de un combustible de similares propiedades “gas oíl”, ya que el costo de cada litro de combustible derivado del plástico es de Bs.1, con diferencia de 10 ctvs. que es inferior al combustible en el mercado.

5.2 Recomendaciones

Entre las recomendaciones se pueden distinguir las siguientes:

- Considerar un condensador con tubería de serpentín para mejorar la transferencia de calor entre el gas y el agua de enfriamiento y además obtener la fracción líquida sin presencia de partículas de agua.
- A los encargados del prototipo realizar el mantenimiento regular con fin de evitar desperfectos, los cuales resultan antieconómicos y no productivos.
- Después de realizar el proceso de pirólisis se debe limpiar el reactor.
- Después de drenar la muestra de combustible (gas oíl) del contenedor húmedo se debe drenar el agua, realizar la limpieza correspondiente.
- Tener cuidado con la manipulación del botellón de GLP tiene un peso de 22 Kg.
- Se recomienda diseñar el reactor de mayor capacidad que permite tener una perspectiva más amplia que ayudará a la reducción de los desechos plásticos a través de obtención de productos aprovechables.
- Se recomienda que antes de usar el prototipo se lea el manual de operación y que se tomen en cuenta las recomendaciones del mismo para la programación del mantenimiento.

5.3 Referencias Bibliográficas

1. Aracil, I. 2008. *Formación de documentos y estudio cinético de la pirólisis y combustión de plásticos (PE, PVC y PCP)*. España, Riverté. 414pp.
2. Castells, X. 2012. *Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración: Reciclaje de residuos industriales*. Europa, Santos. 81pp.
3. Hernández R. 2007. *Evaluación de la Pirólisis Térmica y Catalítica de Polietileno en Lecho Fluidizado como Técnica de Reciclado*. España, Riverté, 27pp.
4. Billmeyer, F. 1975. *Ciencia de los Polímeros*. Barcelona, Spain. 38pp.
5. Franco, F. y Juan, M. 1985. *Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión. CÓDIGO A.S.M.E. SECCIÓN VIII DIVISIÓN*. 3ª ed. México, Harla. 364pp.
6. Arandes, E. 2004. *Reciclado de residuos plásticos*. España. 3pp
7. Espinoza, E. 2009. *Modelo de Gestión de Residuos Plásticos. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. Argentina, Mendoza, 12pp
8. Salinas, V.; Vázquez, F. 2010. *Diseño y construcción de un sistema de combustión para la caracterización térmica de desechos plásticos*. Bogotá, Mundo de letras, 4pp.
9. Contreras, F. 2014. *Estudio de Pirólisis Catalítica de Propileno en un Reactor semi-batch*. Chile, Overol. 85pp.
10. Pérez, J. 2018. Agudelo, *Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios teórico – experimentales*, Colombia, Medellín, 23pp.

ANEXOS

ANEXO 1

MANUAL DE OPERACIÓN DEL PROTOTIPO

Componentes básicos del reactor

Los componentes que se muestran en la tabla 6.1 se encuentran enumerados en los siguientes gráficos del reactor.

	N.º	COMPONENTE
REACTOR	1	Cilindro
	2	Tapa
	3	Empaque Ø226mm
	4	Termocupla
	5	Termómetro
	6	Perno M 12X150
	7	Conducto del reactor al contenedor húmedo (tubo Ø _N 1/2")
CONTENEDOR HUMEDO	8	Cilindro PP
	9	2 tapas de PTFE
	10	Empaque Ø115mm
	11	Perno M 10X250
	12	Conducto del contendor húmedo al filtro (tubo Ø _N 1/2")
FILTRO	13	Recipiente
	14	Tapa
	15	Tornillos M 4-0.7X20
	16	Manguera

	N.º	COMPONENTE
SOPORTE CON. HÚM. Y FILTRO	17	Estructura 1
	18	Termocupla digital
	19	Grifo de plástico manija mariposa drena aceite mixto
	20	Grifo de plástico manija mariposa drena agua
SOPORTE DEL EQUIPO	22	Estructura 2
	23	Reactor
	24	Soporte del contenedor húmedo y filtro
	25	Fuente de calor
	26	Botellón de GLP
	27	Manguera de GLP acoplada a un regulador de presión

Tabla 6.1 Componentes del prototipo

Fuente: Elaboración Propia

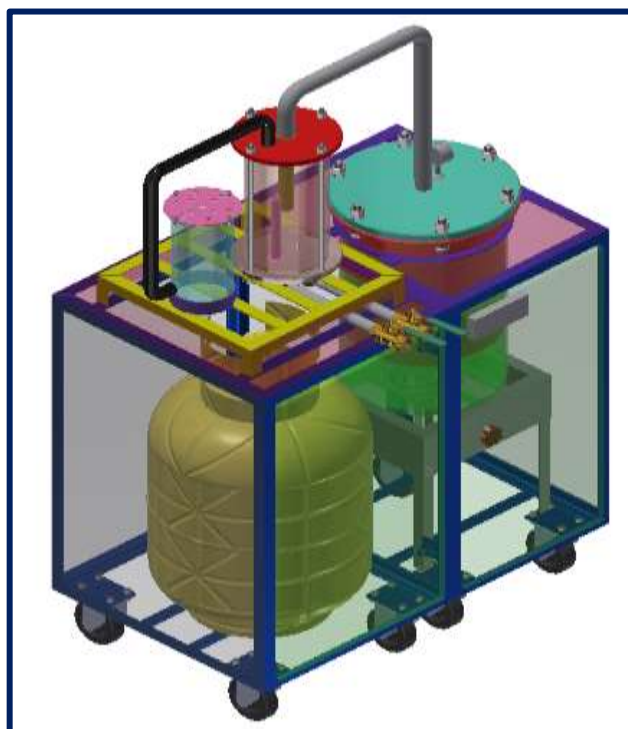


Figura 6.1 Prototipo

Fuente: Elaboración propia

Ubicación del reactor (cilindro)

Se debe situar el reactor dentro de la cobertura por seguridad, ver figura 6.2.

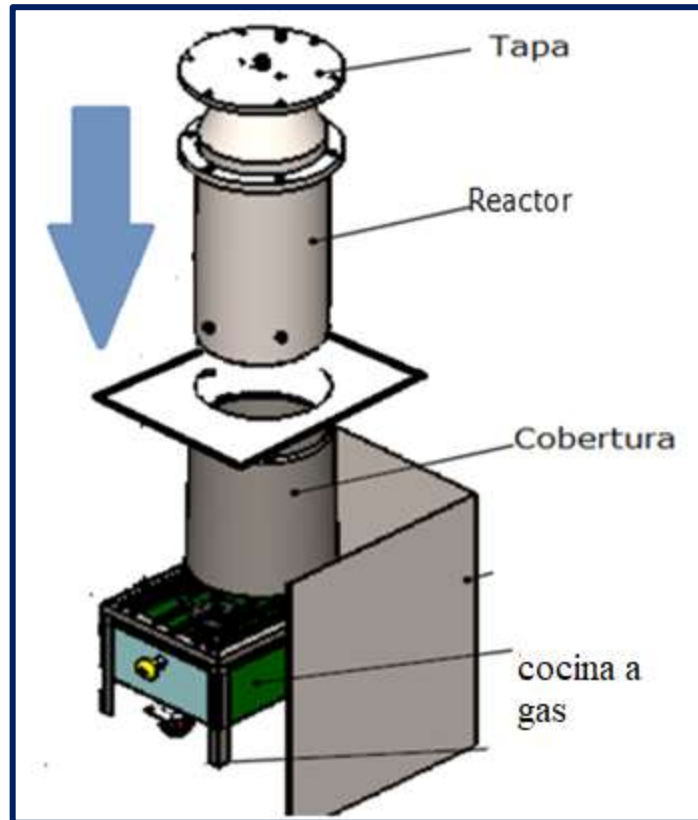


Figura 6.2 Reactor en posición adecuada

Fuente: Elaboración propia

Llenado de plástico

Se debe ingresar un kilogramo (1Kg.) de plástico al reactor o a una altura de 227.54mm por seguridad.



Figura 6.3 Variedad de plásticos

Fuente: Elaboración propia

Ubicación de la tapa

Se debe situar la tapa coincidiendo los orificios, colocar los pernos M12 y las arandelas finalmente colocamos la tuerca y realizar el apriete correspondiente, ver figura 6.4.

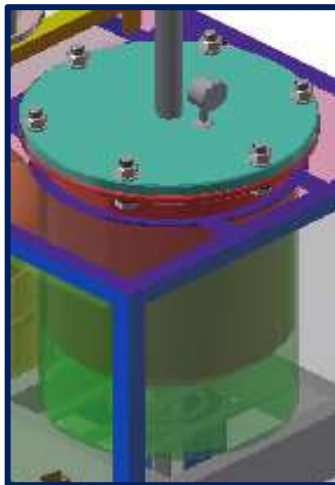


Figura 6.4 Cierre de la tapa

Fuente: Elaboración propia

Ensamble conducto superior (reactor al contenedor húmedo)

El tubo conector se debe enlazar a la tapa del reactor la parte atrás del caño se debe enlazar con el contenedor húmedo, ver figura 6.5.

Contenedor húmedo

El contenedor húmedo recibe los gases del reactor de pirólisis en 1000 mililitros de agua que se encuentra a temperatura ambiente, aproximadamente a 20°C, permitiendo la condensación del aceite pirolítico.

Instalación de cañería (contenedor húmedo al filtro)

Ver figura 6.5.

Filtro

El filtro es el encargado de la retención de los gases no condensables en el proceso de la pirólisis, ver figura 6.5.

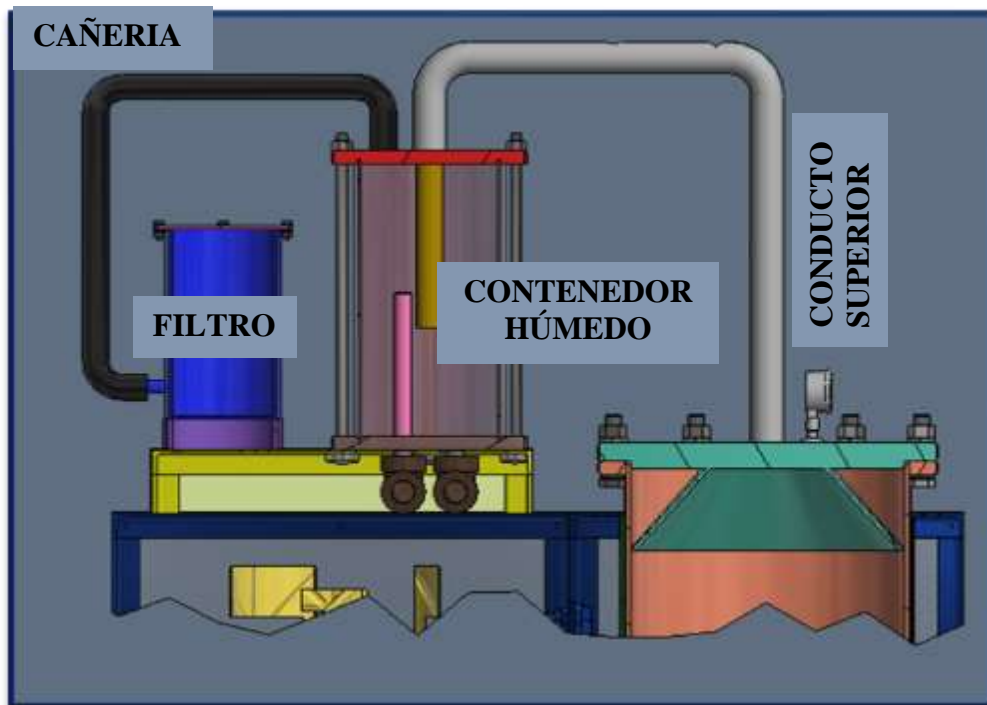


Figura 6.5 Filtro

Fuente: Elaboración propia

Estructura derecha

En la estructura derecha se debe alojar el botellón GLP, ver figura 6.6.

Estructura izquierda

En la estructura izquierda se debe alojar el cocina a gas, ver figura 6.6.

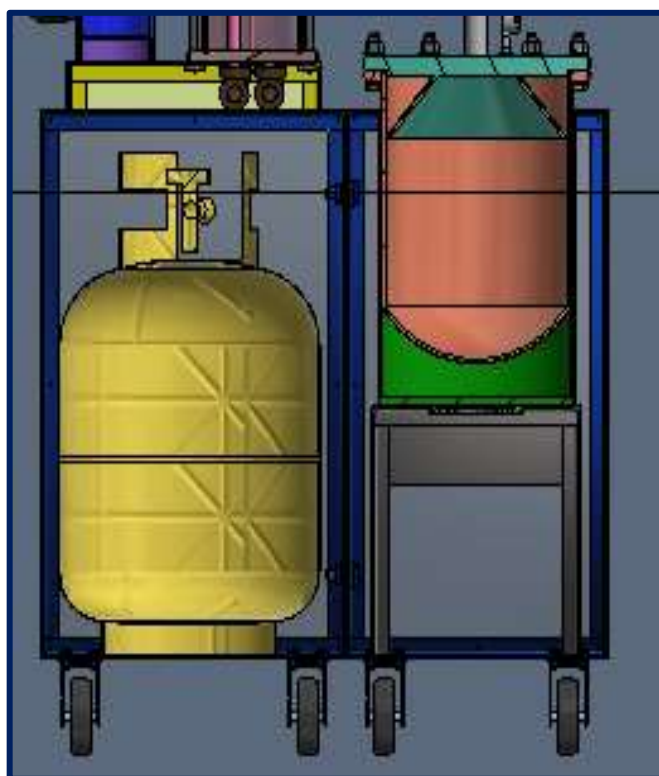


Figura 6.6 Ubicación del botellón GLP y cocina a gas

Fuente: Elaboración propia

Ajustar la temperatura

Debido que el reactor está construido para que trabaje a temperaturas de 550°C. No se recomienda trabajar a temperaturas mayores debido a los cálculos del material que está construido, el sistema de control de temperatura del reactor cuenta con una termocupla que nos indica a que temperatura se está trabajando.

Cocina a gas

El quemador se encarga de calentar el reactor y se puede controlar con la perrilla de la hornalla nos permitirá aumentar o reducir la temperatura del reactor.

Grifos

Primer grifo de plástico con una manija de mariposa, asiento termoplástico, entrada 10mm pulgada, salida 6.35mm es para drenar el combustible (gas oíl). El segundo grifo de plástico con una manija de mariposa, asiento termoplástico, entrada 10mm, salida 6.35mm es para drenar del agua, ver figura 6.7.

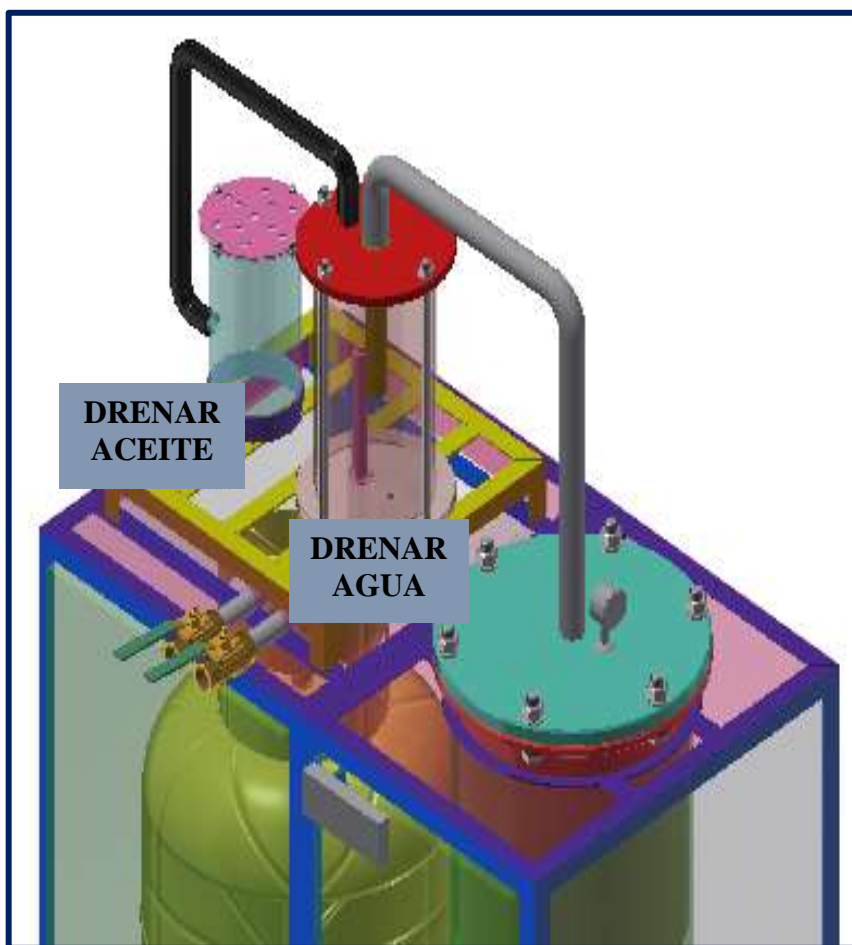


Figura 6.7 Grifos

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2

PRECAUCIÓN

Manipulación de la tapa del reactor

Siempre que utilice el reactor debe ser sellado adecuadamente y asegurar correctamente la tapa en su posición; la tapa esta provista con pernos para evitar que se mueva o que esta se caiga.

Cada vez que retire la tapa de su lugar asegúrese de retirar el tubo conector para evitar dañarlo o doblarlo. Coloque la tapa en una superficie plana y segura, no la ubique en el borde o de cualquier lugar del que puede caer. Cuando cierre la tapa del reactor conecte nuevamente el tubo conector, ver figura 6.8.



Figura 6.8 Cuidado con las manos

Fuente: Elaboración propia

Manipulación del reactor

No se debe manipular el reactor inmediatamente, cuando se termina el ciclo de pirólisis, se debe esperar una hora mínimamente, ver figura 6.9.



Figura 6.9 Superficie caliente

Fuente: Elaboración propio

**ANEXO 3.
CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR**



**ANEXO 4
AFIRMACIÓN DE LOS PERNOS**



ANEXO 5
COBERTURA PARA EL REACTOR



ANEXO 6
REFRENTADO, TAPAS PARA EL CONTENEDOR HÚMEDO



**ANEXO 7
CONTENEDOR HÚMEDO**



**ANEXO 8
ESTRUCTURAS**



ANEXO 9
TABLAS

TABLA N.º 1



Accesorio acero al carbono ASTM

DIMENSIONES Y PESOS DE LOS TUBOS SEGUN NORMAS ASME B36.10 y B36.19

Tubería ASTM A 516 Gr 70

NPS	OD mm.	5S	10S	10	20	30	Std. 40S	40	60	XS 80S	80	100	120
1/8"	10,29		1,24 0,28				1,73 0,37	1,73 0,37		2,41 0,47	2,41 0,47		
1/4"	13,72		1,65 0,49				2,24 0,64	2,24 0,64		3,02 0,82	3,02 0,82		
3/8"	17,15		1,65 0,63				2,31 0,87	2,31 0,87		3,20 1,12	3,20 1,12		
1/2"	21,3	1,65 0,81	2,11 1,02	2,11 1,02			2,77 1,29	2,77 1,29		3,73 1,64	3,73 1,64		
3/4"	26,7	1,65 1,03	2,11 1,30	2,11 1,30			2,87 1,71	2,87 1,71		3,91 2,23	3,91 2,23		
1"	33,4	1,65 1,31	2,77 2,13	2,77 2,13			3,38 2,54	3,38 2,54		4,55 3,29	4,55 3,29		
1 1/4"	42,2	1,65 1,67	2,77 2,73	2,77 2,73			3,56 3,44	3,56 3,44		4,85 4,53	4,85 4,53		
1 1/2"	48,3	1,65 1,93	2,77 3,16	2,77 3,16			3,68 4,11	3,68 4,11		5,08 5,49	5,08 5,49		
2"	60,3	1,65 2,42	2,77 3,99	2,77 3,99			3,91 5,52	3,91 5,52		5,54 7,60	5,54 7,60		
2 1/2"	73,0	2,11 3,75	3,05 5,34	3,05 5,34			5,16 8,77	5,16 8,77		7,01 11,59	7,01 11,59		
3"	88,9	2,11 4,59	3,05 6,56	3,05 6,56			5,49 11,47	5,49 11,47		7,62 15,51	7,62 15,51		
3 1/2"	101,6	2,11 5,25	3,05 7,53	3,05 7,53			5,74 13,78	5,74 13,78		8,08 18,92	8,08 18,92		
4"	114,3	2,11 5,93	3,05 8,50	3,05 8,50			6,02 16,32	6,02 16,32		8,56 22,66	8,56 22,66		11,13 28,75
5"	141,3	2,77 9,61	3,40 11,74	3,40 11,74			6,55 22,10	6,55 22,10		9,53 31,44	9,53 31,44		12,70 40,90
6"	168,3	2,77 11,47	3,40 14,04	3,40 14,04			7,11 28,69	7,11 28,69		10,91 43,21	10,91 43,21		14,27 55,03
8"	219,1	2,77 15,00	3,76 20,27	3,76 20,27	6,35 33,82	7,04 37,38	8,18 43,20	8,18 43,20	10,31 53,90	12,70 65,63	12,70 65,63	15,06 76,93	18,24 91,73
10"	273,1	3,40 22,95	4,19 28,20	4,19 28,20	6,35 42,41	7,80 51,81	9,27 61,22	9,27 61,22	12,70 82,80	12,70 82,80	15,06 97,27	18,24 116,38	21,41 134,90

Los números en negro indican espesores

Los números en rojo indican el peso Kg/m



TABLA N.º 2

Accesorio acero al carbono ASTM

PLANCHA GRUESA

ASTM A 516 Gr 70

CALIDAD: ASTM A-516 Gr 70
ANCHO: 2440 [mm]
LARGO: 6000 y 12000 [mm]

Espesor	Área	Peso x Plancha	
		Largo [mm]	
		6000	12000
[mm]	[cm ²]	[kgf]	[kgf]
6	146,4	690	1379
8	195,2	919	1839
10	244,0	1149	2298
12	292,8	1379	2758
14	341,6	1609	3218
16	390,4	1839	3678
18	439,2	2069	4137
20	488,0	2298	4597
22	536,8	2528	5057
25	610,0	2873	5746
28	683,2	3218	6436
32	780,8	3678	7355
35	854,0	4022	8045
38	927,2	4367	8734
45	1098	5172	10343

CALIDAD	Limite de Fluencia mínimo, Fy	Tensión de rotura por tracción, Fu	Alargamiento mínimo (50 [mm])	Fy/Fu
	[MPa]	[MPa]	%	≤ 0,85
ASTM A-516 Gr 70	260	485	21	0,54

Aceros estructurales chilenos para construcciones generales (NCh 203 Of. 2006)

A240ES	240	360	22	0,67
A270ES	270	410	20	0,66
A345ES	345	510	18	0,68
M345ES	345	510	18	0,68
Y345ES	345	480	18	0,72

Aceros estructurales chilenos para construcciones sometidas a cargas de origen dinámico (NCh 203 Of. 2006)

A250ESP	250 a 350	400 a 550	23	0,63
A345ESP	345 a 450	450 mín	21	0,77

TABLA N.º 3

Accesorio acero al carbono ASTM

ASTM según ASME/ANSI B16.9

Dimensiones según ASME/ANSI B16.9
Material según ASTM A.

Codo Roscado de acero inoxidable de 90 grados - ASTM standart



Codigo	Medida nominal en pulgadas	Material	Presion	Rosca
W-20053	3/8"	304	#150	NPT
W-20054	1/2"	304	#150	NPT
W-20055	3/4"	304	#150	NPT
W-20056	1"	304	#150	NPT
W-20057	1 1/2"	304	#150	NPT
W-20058	2"	304	#150	NPT
W-20059	2 1/2"	304	#150	NPT
W-20060	3"	304	#150	NPT

Union Roscada Hexagonal de acero inoxidable - ASTM standart



Codigo	Medida nominal en pulgadas	Material	Presion	Rosca
W-20061	3/8"	304	#150	NPT
W-20062	1/2"	304	#150	NPT
W-20063	3/4"	304	#150	NPT
W-20064	1"	304	#150	NPT
W-20065	1 1/2"	304	#150	NPT
W-20066	2"	304	#150	NPT
W-20067	2 1/2"	304	#150	NPT
W-20068	3"	304	#150	NPT

T Roscada de acero inoxidable - ASTM standart



Codigo	Medida nominal en pulgadas	Material	Presion	Rosca
W-20069	3/8"	304	#150	NPT
W-20070	1/2"	304	#150	NPT
W-20071	3/4"	304	#150	NPT
W-20072	1"	304	#150	NPT
W-20073	1 1/2"	304	#150	NPT
W-20074	2"	304	#150	NPT
W-20075	2 1/2"	304	#150	NPT
W-20076	3"	304	#150	NPT








TABLA N.º 4

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

* Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_r = d - 1.226 869p$, y el diámetro de paso a partir de $d_{pp} = d - 0.649 519p$. La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión.

TABLA N.º 5

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero*

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, [†] MPa	Resistencia mínima a la tensión, [†] MPa	Resistencia mínima a la fluencia, [†] MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

* La longitud de la rosca de pernos y tornillos de cabeza es

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 & L \leq 125 \\ 2d + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2d + 25 & L > 200 \end{cases}$$

donde L es la longitud del perno. La longitud de la rosca de pernos estructurales es ligeramente menor que la indicada.

[†] Las resistencias mínimas son las resistencias que exceden 99 por ciento de los sujetadores.

TABLA N.º 6







Dimensiones de roscas hexagonales

Tamaño nominal, pulg	Ancho W	Altura H		
		Hexagonal regular	Gruesa ranurada	Contratuercas
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{9}{32}$	$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{17}{64}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{13}{32}$	$\frac{7}{32}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{29}{64}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{31}{64}$	$\frac{39}{64}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{41}{64}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{27}{64}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{5}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{29}{32}$	$\frac{31}{64}$
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

TABLA N.º 7

TABLA UW-12 DEL CÓDIGO ASME SECCIÓN VIII DIV 1 [2]

EFICIENCIAS DE JUNTA MÁXIMO PERMITIDAS PARA JUNTAS SOLDADAS
POR ARCO Y GAS

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS		EFICIENCIA DE LA JUNTA, Cuando la junta es:		
TIPOS DE UNIONES NORMA UW - 12		a. Radiografiada al 100%	b. Radiografiada por puntos	c. Sin radiografiar
1 	<p>Junta a tope, hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza.</p> <p>Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
2  En juntas circunferenciales únicamente	<p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar.</p>	0.90	0.80	0.65
3 	<p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	-	-	0.60
4 	<p>Junta a traslape de doble filete completo</p>	-	-	0.55
5 	<p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldadura de tapón</p>	-	-	0.50
6 	<p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldadura de tapón</p>	-	-	0.45

Ángulos Estructurales

CALIDAD: ASTM A36

DENOMINACIÓN:
L A36.

DESCRIPCIÓN:
Producto de acero laminado en caliente cuya sección transversal está formada por dos alas de igual longitud, en ángulo recto.

USOS:
En la fabricación de estructuras de acero para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industrial naval, carrocerías, torres de transmisión. También se utiliza para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.

NORMAS TÉCNICAS:
- Sistema Inglés- Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M
- Tolerancias Dimensionales: ASTM A6 / A6M
- Sistema Métrico- Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M
- Tolerancias Dimensionales: ISO 657 / V

PRESENTACIÓN:
Se produce en longitudes de 6 metros. Se suministra en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por paquetos de 1 TM c/u.

PROPIEDADES MECÁNICAS:
- Límite de Fluencia mínimo = 2,530 Kg/cm².
- Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,620 Kg/cm² (*).
- Alargamiento en 200 mm = 15,0% mínimo.
2,0 mm, 2,5 mm, 3,0 mm, 1/8", 3/32", = 17,0% mínimo.
4,5 mm y 3/16" = 17,5% mínimo.
6,0 mm = 20,0% mínimo.
1/4" = 20,0% mínimo.
5/16", 3/8" y 1/2" = 20,0% mínimo.
(* Para los espesores de 2,0 mm a 2,5 mm, la resistencia a la tracción mínima es de 3,500 kg/cm².
- Soldabilidad = Buena.

DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:
SISTEMA INGLÉS

DIMENSIONES (pulg)	PESO NOMINAL		
	Lb/pie	Kg/m	Kg/6m
1 x 1 x 3/32	0,929	1,382	8,292
1 x 1 x 1/8	1,230	1,830	10,983
1 x 1 x 3/16	1,800	2,679	16,072
1 x 1 x 1/2	2,340	3,482	20,894
2 x 2 x 1/8	1,650	2,455	14,733
2 x 2 x 3/16	2,440	3,631	21,787
2 x 2 x 1/2	3,190	4,747	28,483
2 x 2 x 5/16	3,920	5,834	35,002
2 x 2 x 3/8	4,700	6,994	41,966
2 x 2 x 3/16	3,070	4,569	27,412
2 x 2 x 1/2	4,100	6,101	36,609
2 x 2 x 5/16	5,000	7,441	44,645
2 x 2 x 3/8	5,900	8,780	52,681
3 x 3 x 1/2	4,900	7,292	43,752
3 x 3 x 5/16	6,100	9,078	54,467
3 x 3 x 3/8	7,200	10,715	64,289
3 x 3 x 1/2	9,400	13,889	83,932
4 x 4 x 1/2	6,500	9,622	58,932
4 x 4 x 5/16	8,200	12,203	73,218
4 x 4 x 3/8	9,800	14,584	87,504
4 x 4 x 1/2	12,80	19,048	114,288

SISTEMA MÉTRICO

DIMENSIONES (mm)	PESO ESTIMADO	
	Kg/m	Kg/6m
20 x 20 x 2,0	0,597	3,582
20 x 20 x 2,5	0,736	4,416
20 x 20 x 3,0	0,871	5,226
25 x 25 x 2,0	0,754	4,524
25 x 25 x 2,5	0,932	5,592
25 x 25 x 3,0	1,107	6,642
25 x 25 x 4,5	1,597	9,582
25 x 25 x 6,0	1,766	10,596
25 x 25 x 8,0	2,072	12,432
30 x 30 x 2,0	0,911	5,466
30 x 30 x 2,5	1,128	6,768
30 x 30 x 3,0	1,342	8,052
30 x 30 x 4,5	1,961	11,766
30 x 30 x 6,0	2,353	14,118
30 x 30 x 8,0	2,543	15,258
38 x 38 x 2,0	1,162	6,972

Los productos a partir de 1 1/2" se fabrican bajo la Norma Técnica ASTM A36/A572- 650

COMPOSICIÓN QUÍMICA EN CUCHARA (%):

NORMA	%C máx	%Si máx	%P máx	%S máx
ASTM A36/A36M	0,26	0,40	0,04	0,05

TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y DE FORMA:

Sistema Inglés

NORMA TÉCNICA	DIMENS. NOMINAL	LONG. DE ALA L (mm)	DIFER. ENTRE ALAS AL (mm)	ESPESOR (e - mm)			DESV. MÁX. DE RECTITUD F. (mm/m)	LONG. (l - mm)
				e=3/16"	3/16" < e < 3/8"	e=3/8"		
ASTM A36/A36M	1 1/4", 1 1/2", 1 3/4" y 2"	± 1,19	1,78	± 0,25	± 0,25	± 0,30	4,16	+50 -0
	2 1/2"	± 1,58	1,90	± 0,30	± 0,38	± 0,38	2,08	
	3"	± 3,17	2,77	(*)	(*)	(*)		
	3 1/2" y 4"	-2,38						

(*) La máxima diferencia entre alas 75%, 60% y 50% de la tolerancia total de longitud de alas, respectivamente según la dimensión del ángulo. Fuera de Escuadra entre Alas: máximo permitido +/- 1,3".
(**) El peso métrico no deberá variar más de +1,0%/ -2,5% del peso nominal.

SISTEMA MÉTRICO

CARACTERÍSTICA DE CALIDAD	LONGITUD DE ALA (l) hasta 50mm Inclusive	ESPESOR DE ALA (e) hasta 30mm Inclusive	DIFERENCIA ENTRE ALAS (d) hasta 50mm Inclusive	LONGITUD DE BARRA (L) hasta 50 mm Inclusive	DESVIACIÓN MÁXIMA DE RECTITUD (F) (mm/m)	LONG. MÁX. DE ESCUADRA (l) (mm)
NORMA TÉCNICA ISO 657V	+/- 1,00mm	+/- 0,50 mm	1,5 mm	0/+ 50 mm	4,0 (mm/m) máx.	1 mm máx.

(*) No incluye puntas dobladas.

QCQA01-F103 / 01 / NOV 15



TABLA N.º 9

Planchas

- Laminada en caliente
- Laminada en frío



Plancha laminada en caliente

Recubrimiento:
Negro
Norma de Fabricación:
NTE INEN 115, ASTM A 6
Norma de Calidad:
ASTM A 570 Gr 36 / ASTM A 36 / ASTM A 283 Gr C /
ASTM A 568 Gr A / ASTM A 131 Gr A / ASTM A 516
Gr 70
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg.
1220	2440	1,50	35,05
1220	2440	2,00	46,74
1220	2440	3,00	70,10
1220	2440	4,00	93,47
1220	2440	5,00	116,84
1220	2440	6,00	140,21
1220	2440	8,00	186,94
1220	2440	9,00	210,31
1220	2440	10,00	233,68
1220	2440	12,00	280,41

Aplicaciones

- Conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (flejes).
- Fabricación de tanques.
- Estructuras de puentes.
- Estructuras de barcos.
- Camisas de pilotes.
- Encotrados.
- Placas.
- Contención de tierra.
- Plataformas.
- Calderos.
- Tubería de grandes diámetros.

Plancha laminada en frío

Recubrimiento:
Negro
Norma de Fabricación:
NTE INEN 115
Norma de Calidad:
ASTM A 36 / JIS G 3141 SPCC - SD /
SAE 1010
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Calidad
mm	mm	mm	kg.	
1000	2000	0,70	10,99	Embutición
1000	2000	0,90	14,13	
1000	2000	1,10	17,27	
1000	2000	1,40	21,98	
1220	2440	0,40	9,35	Comercial
1220	2440	0,45	10,52	
1220	2440	0,50	11,68	
1220	2440	0,60	14,02	
1220	2440	0,70	16,36	
1220	2440	0,75	17,52	
1220	2440	0,90	21,03	
1220	2440	1,10	25,70	
1220	2440	1,40	32,72	
1220	2440	2,00	46,74	

Aplicaciones

- Muebles metálicos en general.
- Puertas metálicas.
- Carpintería metálica.
- Tanque para almacenamiento de aceites.
- Tanques de exportación de frutas.
- Baldes para camionetas.
- Partes y piezas metálicas (abrazaderas, de línea blanca, etc).
- Rótulos.
- Señalización de tránsito.
- Cajas fúnebres.
- Autopartes.

TABLA N.º 10

PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES EN EL MERCADO INTERNO

(En bolivianos y litro - Bs/L)

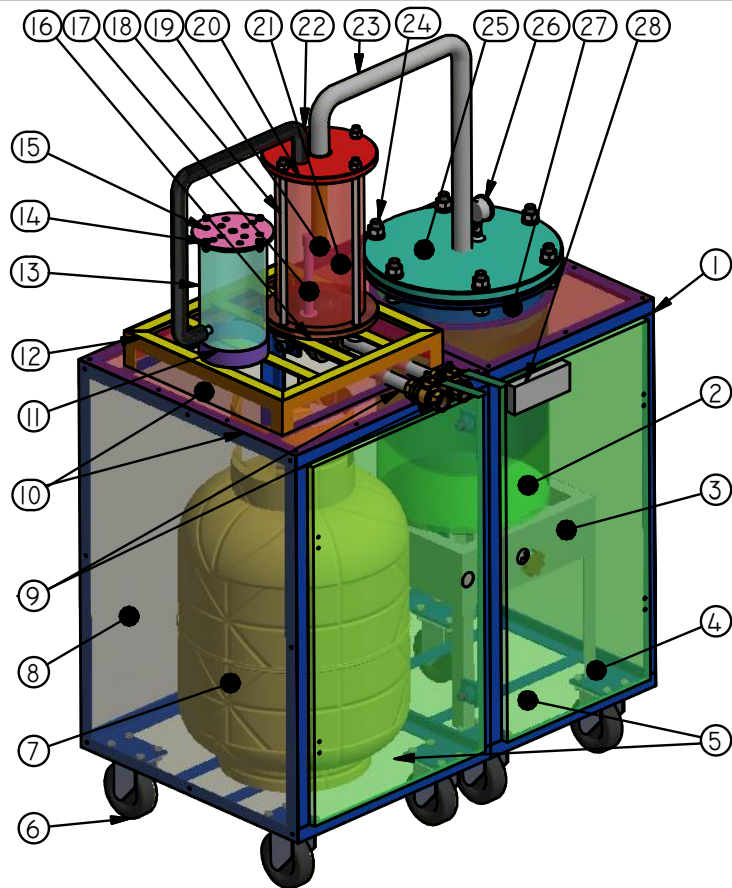


Gasolina Especial	3,74
Gasolina Premium	4,79
Gasolina Súper 91	4,40
Gasolina Súper Etanol 92	4,50
Gasolina de Aviación	4,51
Diésel Oil	3,72
Jet Fuel Nacional	2,71
GLP	2,25 (kg)
Kerosene	2,72
Gas Oil	1,10
Gas Natural Vehicular	1,66 (m3)

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)

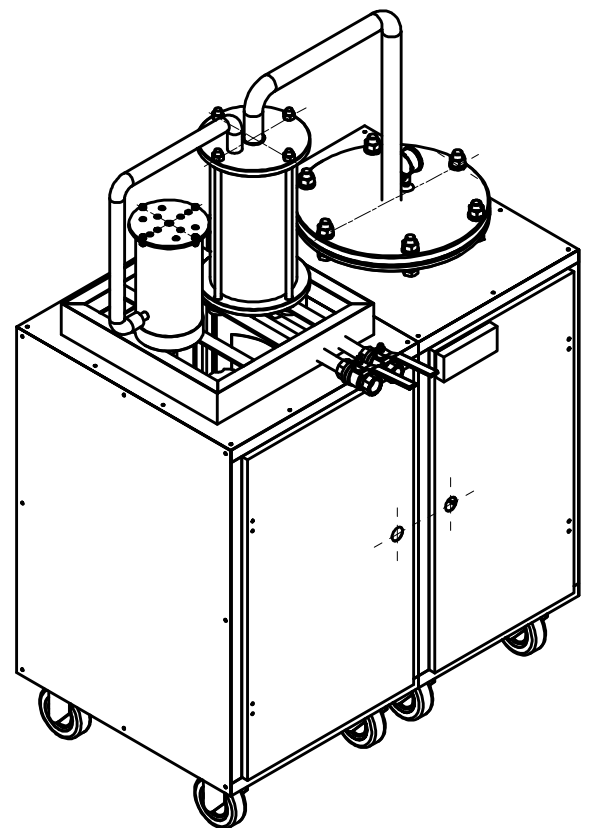
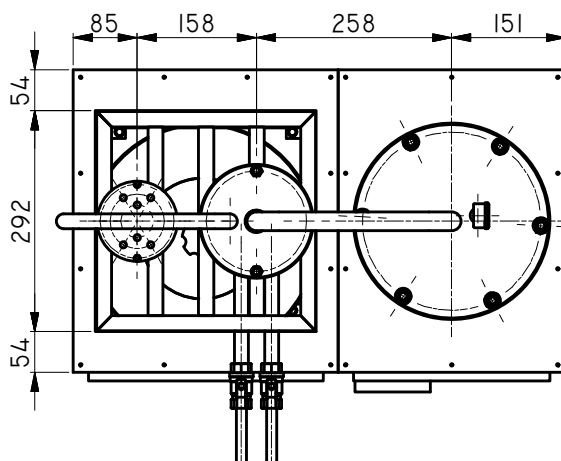
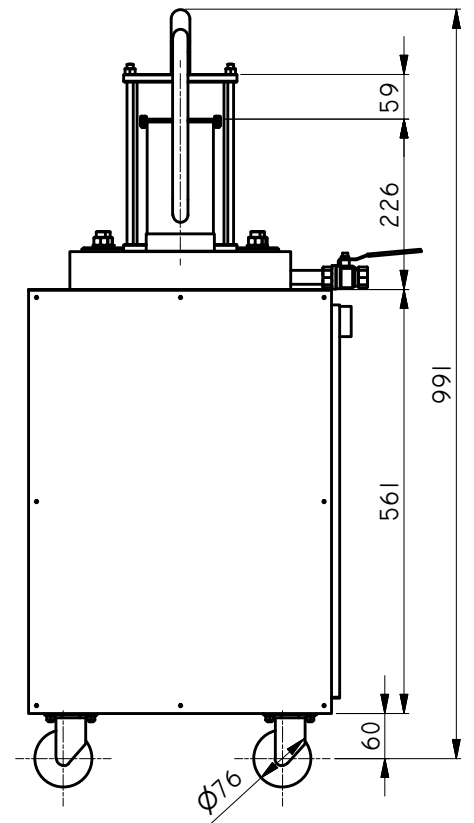
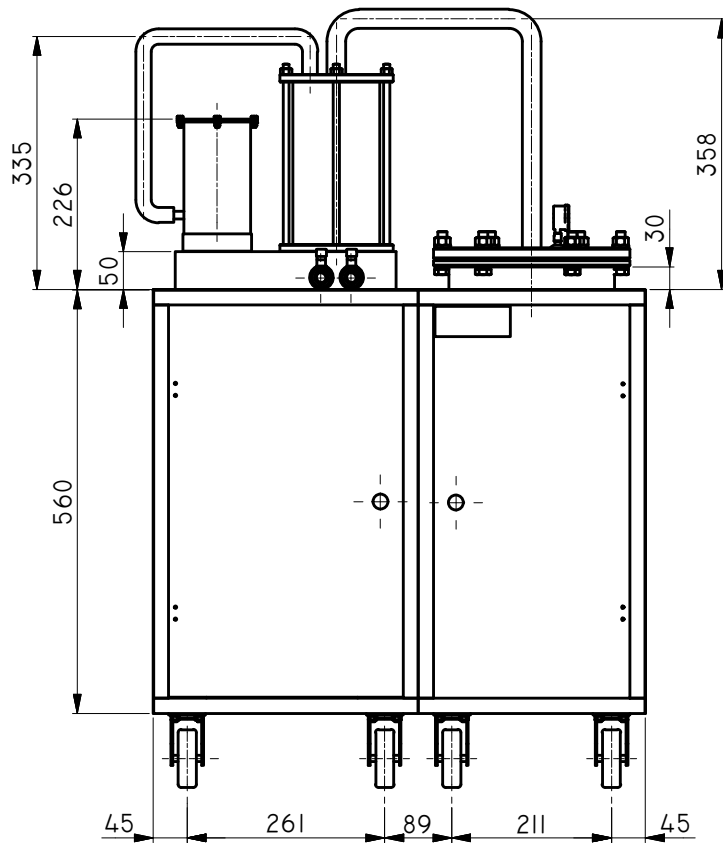
 periodicobolivia.com.bo

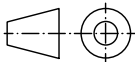

PLANOS

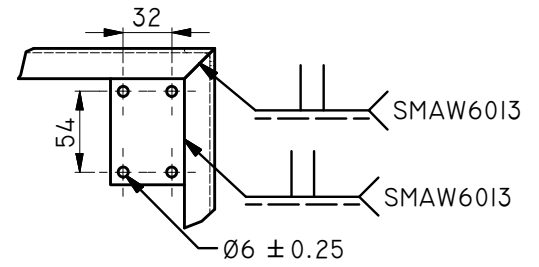
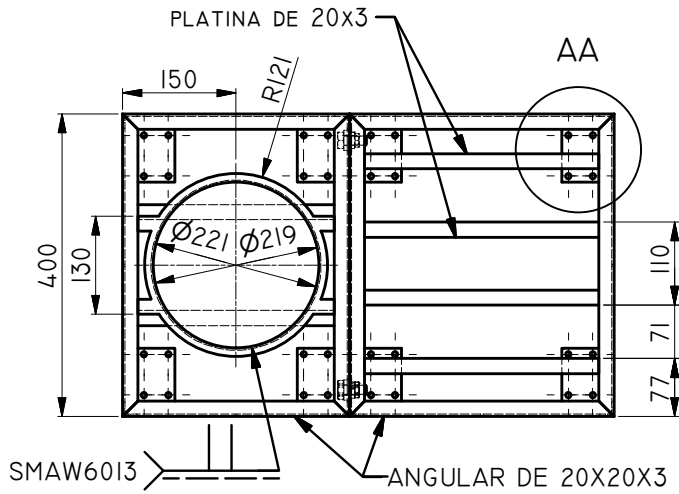
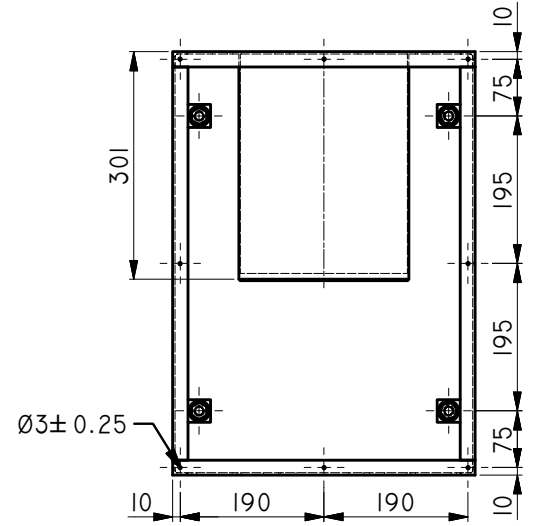
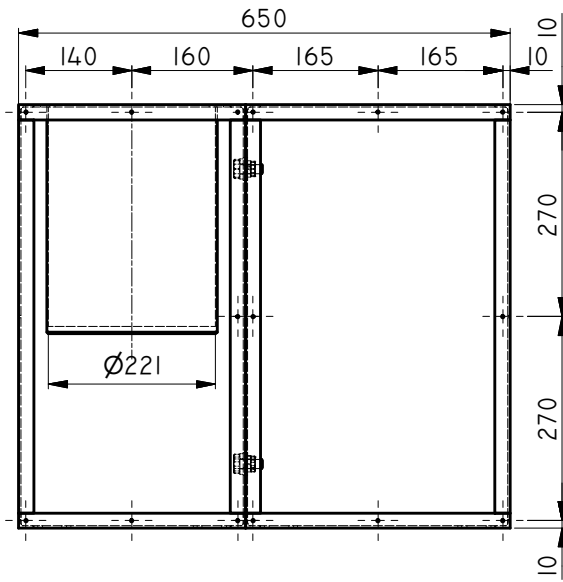


28	1	TERMOCUPLA DIGITAL		
27	1	REACTOR	ASTM A516 GR70	PLANO N° 15
26	1	MANOMETRO		
25	1	TAPA DE REACTOR	ASTM A516	PLANO N° 14
24	6	PERNOS COMPLETOS M12X50		
23	1	CONDUCTOS DE REACTOR		PLANO N° 13
22	1	CONDUCTOS DEL FILTRO		PLANO N° 13
21	1	CONTENEDOR HÚMEDO	PP	PLANO N° 12
20	4	TAPA SUPERIOR DE CONTENEDOR HÚMEDO	PTFE	PLANO N° 11
19	1	CONDUCTO DE CONTENEDOR HÚMEDO SUPERIOR	ASTM A516	PLANO N° 11
18	1	VARILLA ROSCADA M8X15		
17	1	CONDUCTOS DE CONTENEDOR HÚMEDO INFERIOR	ASTM A516	PLANO N° 10
16	1	TAPA INFERIOR DE CONTENEDOR HÚMEDO	PTFE	PLANO N° 10
15	1	TAPA FILTRO	AISI 316L	PLANO N° 9
14	4	PERNOS COMPLETOS M4X15		
13	1	FILTRO	ASTM A516	PLANO N° 8
12	1	ESTRUCTURA SOPORTE	ASTM A36	PLANO N° 7
11	1	SUJECIÓN	ASTM A36	PLANO N° 7
10	1	CHAPA SUPERIOR Y PROTECTOR 290X290	ASTM A36	PLANO N° 6
9	2	CONDUCTO Y VÁLVULA DE 1/2		
8	1	TAPA LATERAL DERECHO E IZQUIERDO	ASTM A36	PLANO N° 5
7	1	TANQUE DE GAS		
6	8	RUEDA INDUSTRIAL GIRATORIA		
5	1	PUERTAS DERECHO E IZQUIERDO	ASTM A36	PLANO N° 4
4	32	PERNO COMPLETO M6X15		
3	1	COCINA DE COBERTURA DE REACTOR		
2	1	COBERTURA DE REACTOR	ASTM A36	PLANO N° 3
1	1	ESTRUCTURA PRINCIPAL	ASTM A36	PLANO N° 3
N°	CANT	DENOMINACIÓN	MATERIAL	OBSERVACIÓN

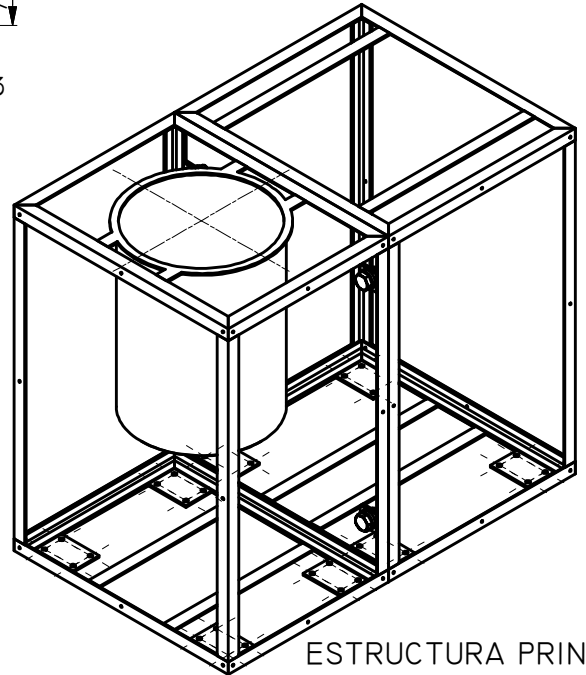
	FECHA	APELLIDOS		U M S A
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI		
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		FACULTAD DE TECNOLOGÍA
APROBADO				
ESCALA	DIBUJO EN CONJUNTO REACTOR DE PIRÓLISIS			MECÁNICA INDUSTRIAL
1:20				PLANO N° 1



	FECHA	APELLIDOS		U M S A
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI		FACULTAD DE TECNOLOGÍA
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		MECÁNICA INDUSTRIAL
APROBADO				PLANO N° 2
ESCALA	REACTOR DE PIRÓLISIS VISTAS PRINCIPALES			
1:5				



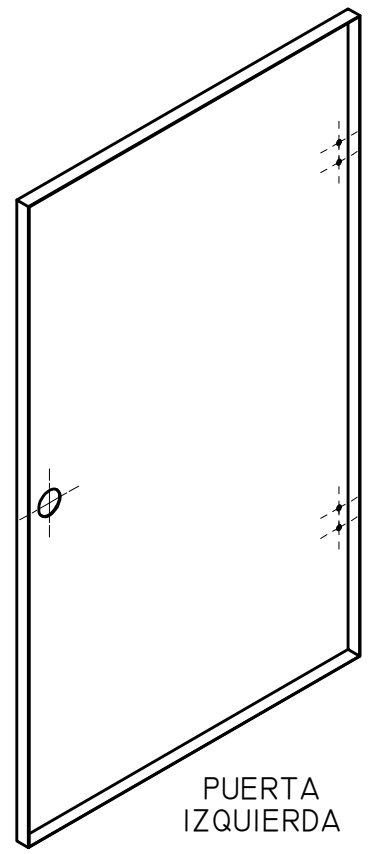
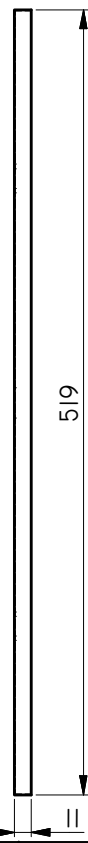
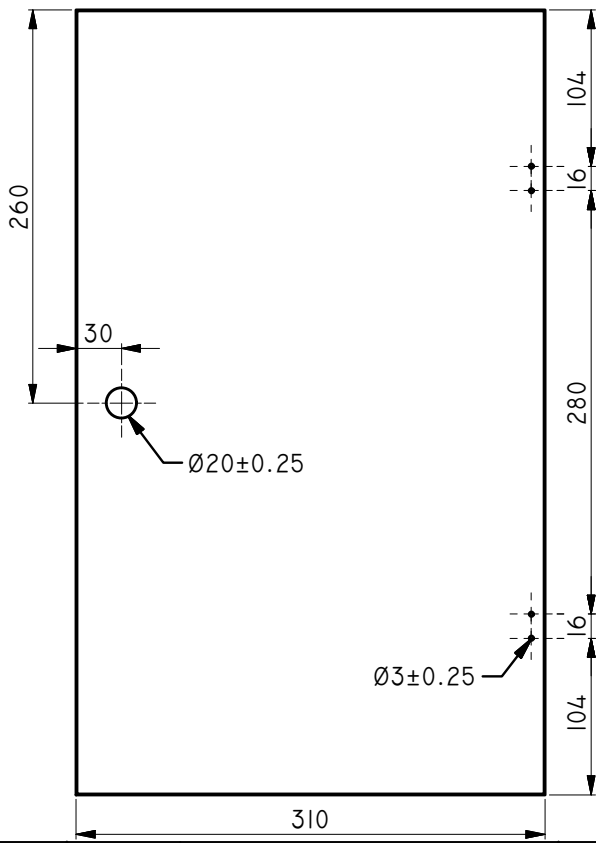
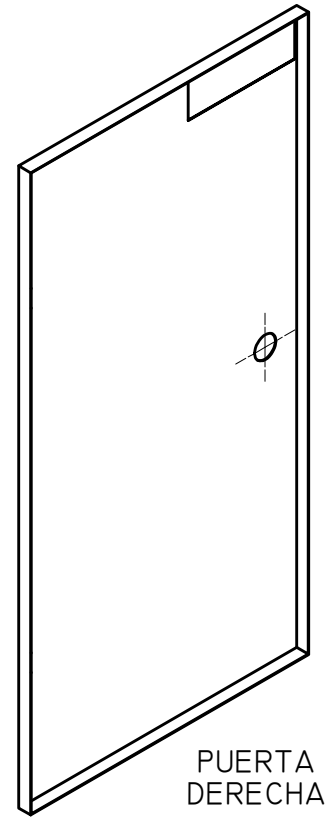
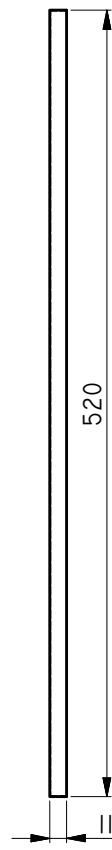
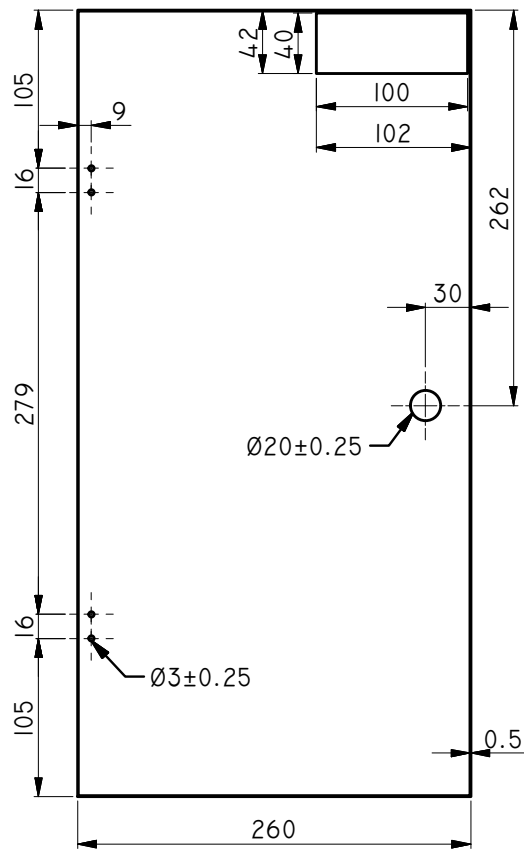
DETALLE AA
ESCALA 2:1



ESTRUCTURA PRINCIPAL
ESCALA 1:10

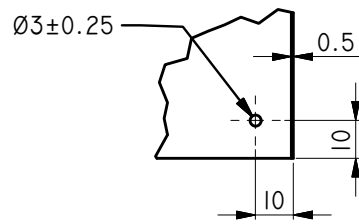
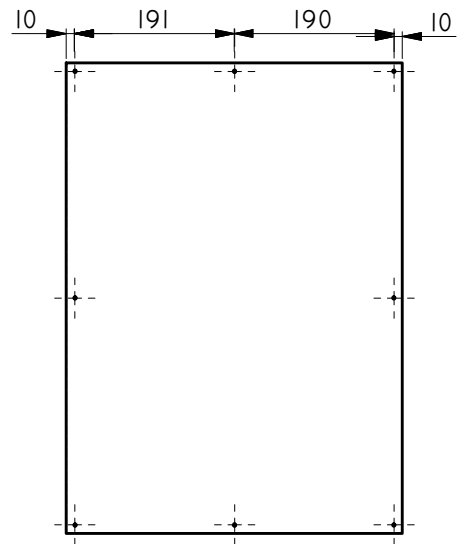
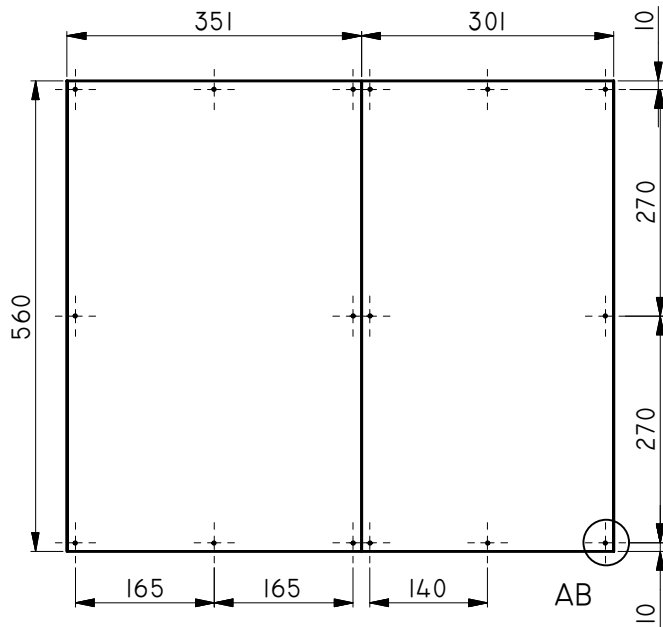
2	I	COBERTURA REACTOR	2	mm	ASTM A36	
1	I	ESTRUCTURA PRINCIPAL	1	mm	ASTM A36	
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

	FECHA	APELLIDOS		<p>U M S A</p> <p>FACULTAD DE TECNOLOGÍA</p>		
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI				
REVISADO	13/10/22	ESPIÑOZA GUTIERREZ		<p>MECÁNICA INDUSTRIAL</p> <p>PLANO N° 3</p>		
APROBADO						
ESCALA INDICADA	ESTRUCTURA PRINCIPAL					

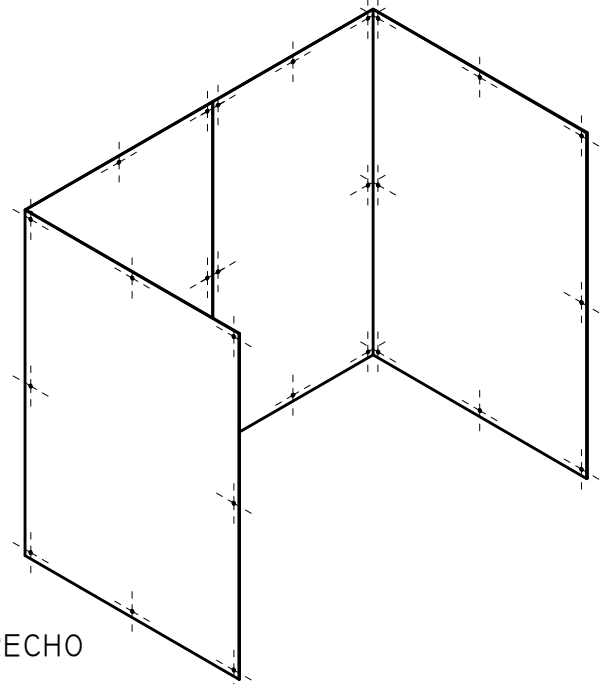


2	I	PUERTA IZQUIERDA	5	mm	ASTM A36	
1	I	PUERTA DERECHA	5	mm	ASTM A36	
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

	FECHA	APELLIDOS		U M S A FACULTAD DE TECNOLOGÍA		
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI				
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		MECÁNICA INDUSTRIAL PLANO Nº 4		
APROBADO						
ESCALA	PUERTA DERECHA Y IZQUIERDA					
1:5						



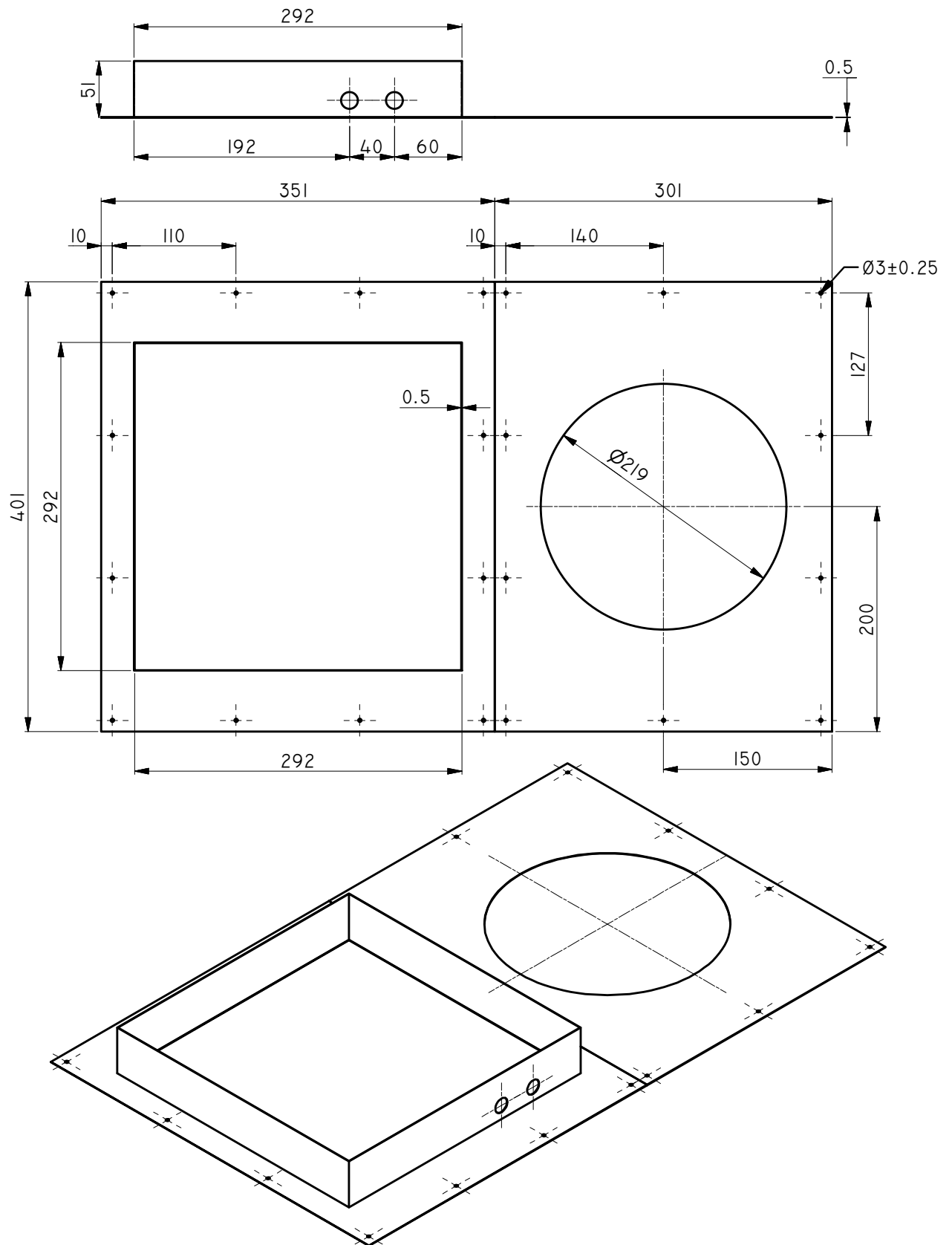
DETALLE AB
ESCALA 2:1



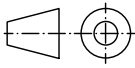
TAPA LATERAL IZQUIERDO Y DERECHO
ESCALA 1:10

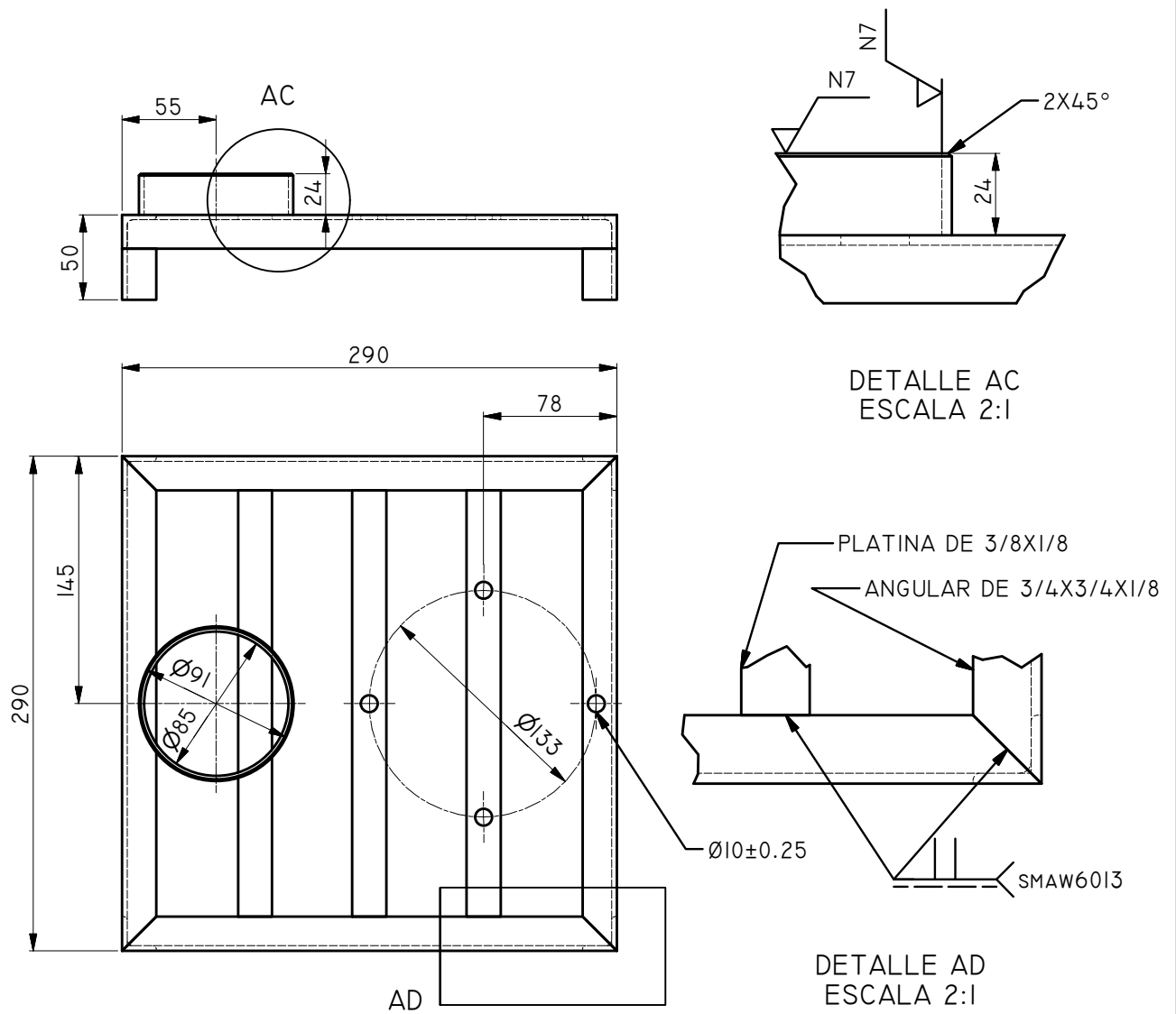
2	1	TAPA LATERAL DERECHA	8	mm	ASTM A36	
1	1	TAPA LATERAL IZQUIERDA	8	mm	ASTM A36	
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

	FECHA	APELLIDOS		U M S A		
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI				
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		FACULTAD DE TECNOLOGÍA		
APROBADO						
ESCALA	TAPAS LATERALES DERECHA E IZQUIERDA			MECÁNICA INDUSTRIAL		
INDICADA						



3	1	CHAPA 290X290	10	mm	ASTM A36	
2	1	CHAPA SUPERIOR 2	10	mm	ASTM A36	
1	1	CHAPA SUPERIOR 1	10	mm	ASTM A36	
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

	FECHA	APELLIDOS		U M S A FACULTAD DE TECNOLOGÍA		
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI				
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		MECÁNICA INDUSTRIAL PLANO N° 6		
APROBADO						
ESCALA	CHAPA SUPERIOR					
1:5						



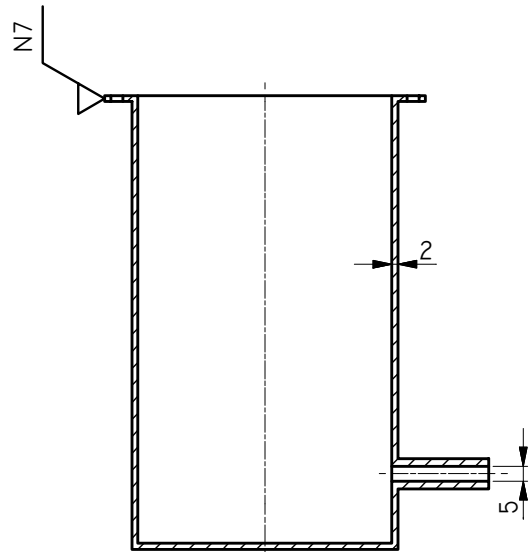
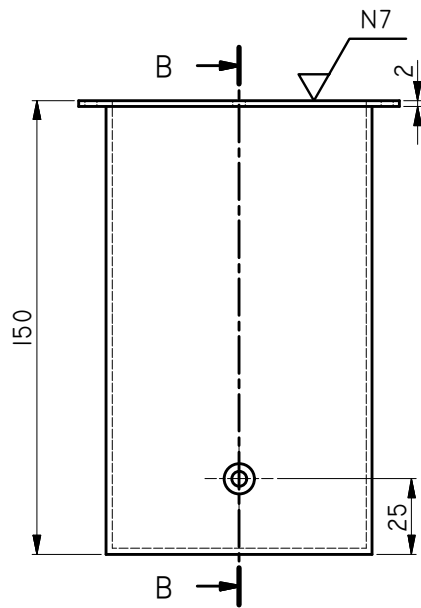
DETALLE AC
ESCALA 2:1

DETALLE AD
ESCALA 2:1

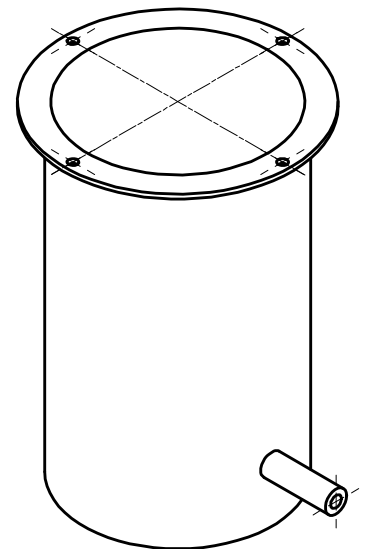
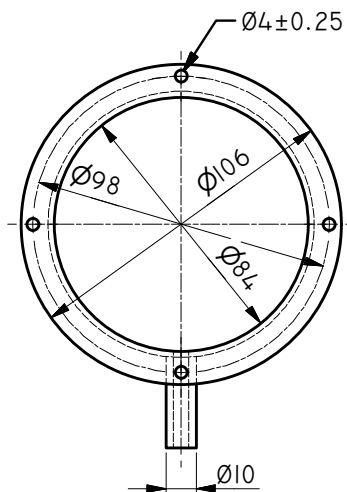
ESTRUCTURA SOPORTE
ESCALA 1:5

2	I	ESTRUCTURA SOPORTE	12	mm	ASTM A36	
1	I	SUJECIÓN FILTRO	11	mm	ASTM A36	N7 TORNEADO FINO
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

	FECHA	APELLIDOS		<p>U M S A</p> <p>FACULTAD DE TECNOLOGÍA</p> <p>MECÁNICA INDUSTRIAL</p> <p>PLANO N° 7</p>		
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI				
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ				
APROBADO						
ESCALA INDICADA	ESTRUCTURA DE SOPORTE Y SUJECION FILTRO					

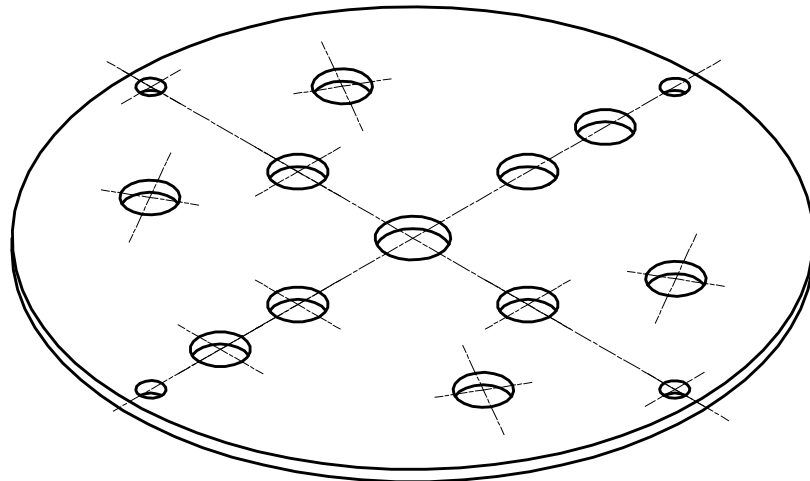
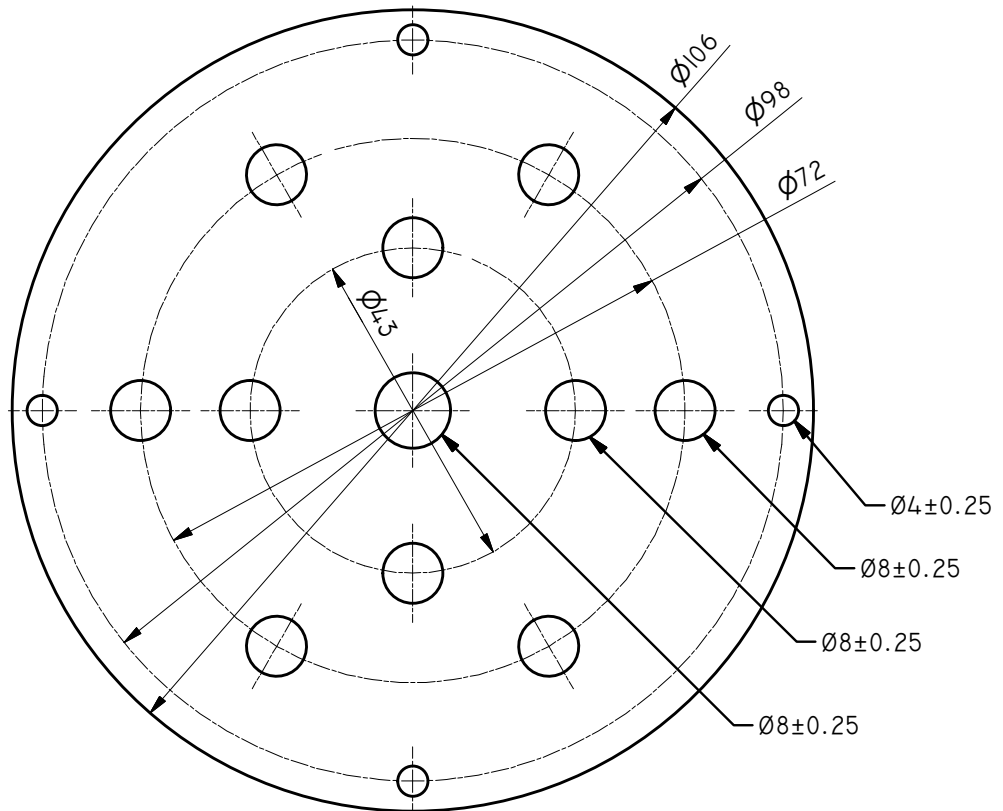
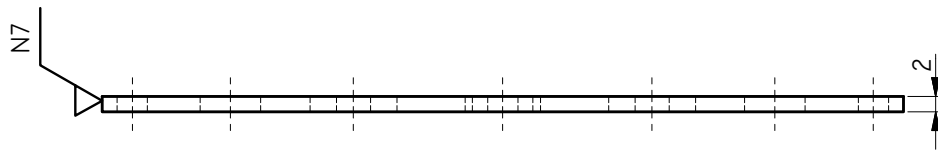


CORTE B-B
ESCALA 1:2



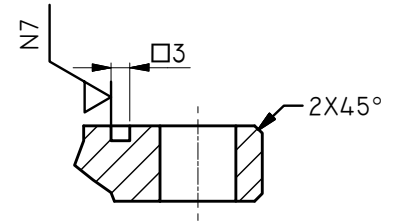
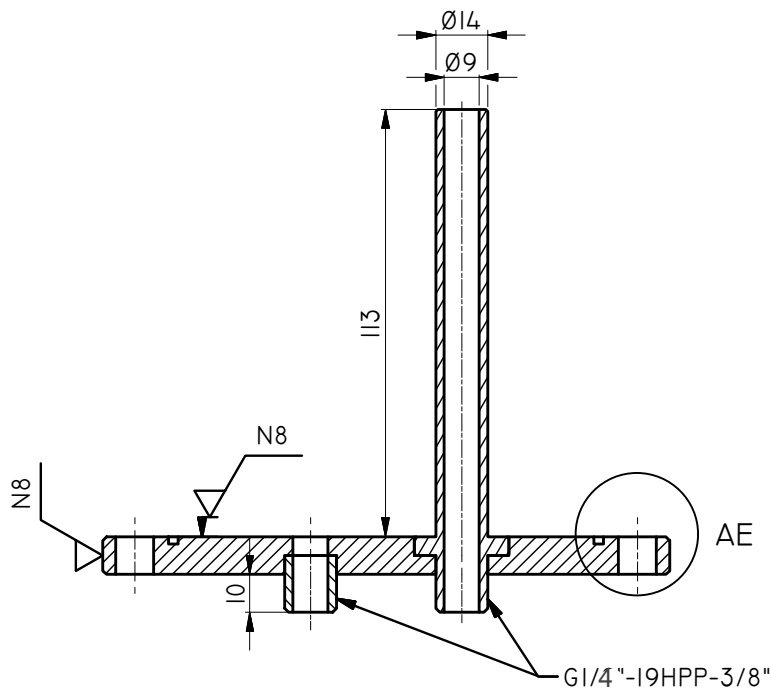
I	I	FILTRO	13	mm	ASTM A516	N7 TORNADO FINO
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

	FECHA	APELLIDOS		<p style="text-align: center;">U M S A</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE TECNOLOGÍA</p> <p style="text-align: center;">MECÁNICA INDUSTRIAL</p> <p style="text-align: center;">PLANO Nº 8</p>
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI		
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		
APROBADO				
ESCALA	FILTRO			
1:2				

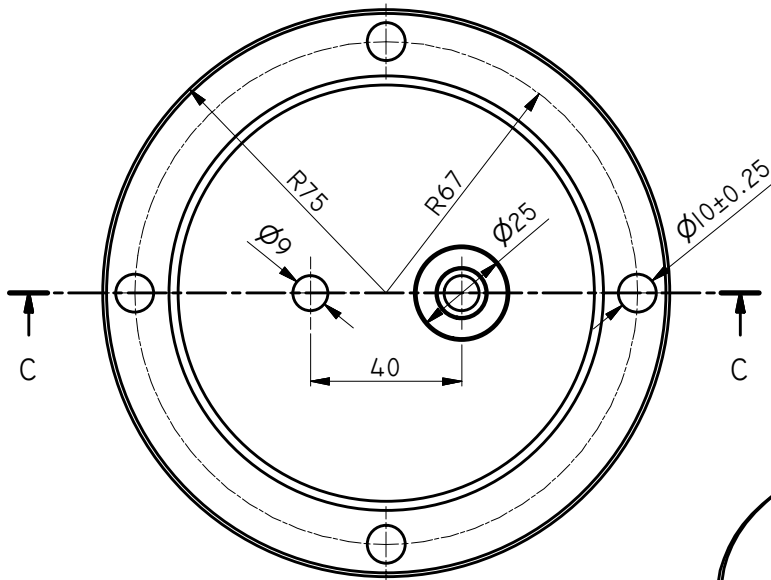


I	I	TAPA FILTRO	15	mm	ASTM A516	
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

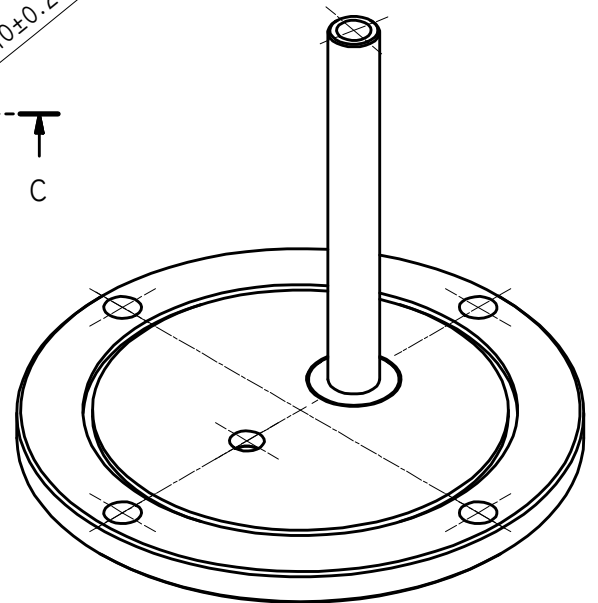
	FECHA	APELLIDOS		U M S A		
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI				
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		FACULTAD DE TECNOLOGÍA		
APROBADO						
ESCALA	TAPA FILTRO			MECÁNICA INDUSTRIAL		
1:1				PLANO Nº 9		



DETALLE AE
ESCALA 2:1



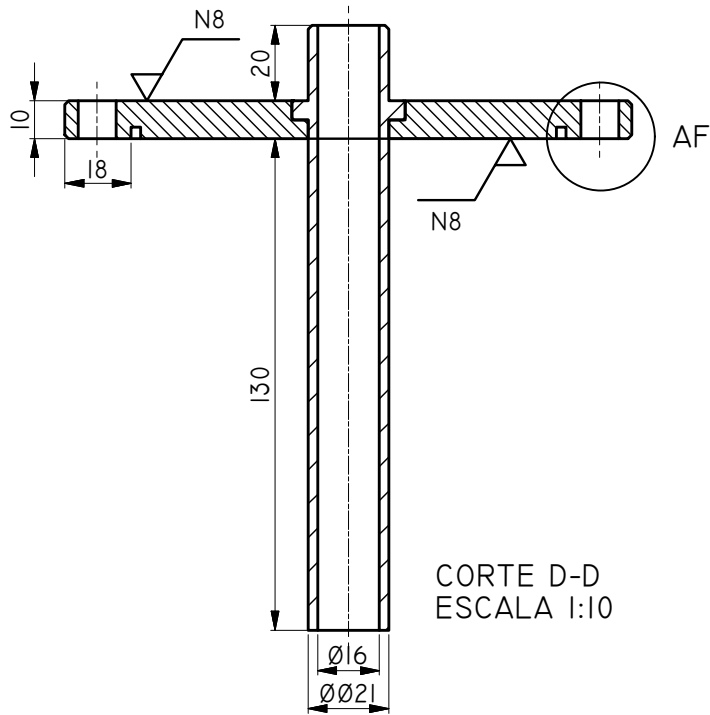
CORTE C-C
ESCALA 1:2



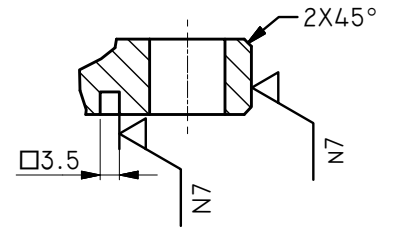
TAPA INFERIOR
ESCALA 1:10

2	1	CONDUCTO SALIDA DE ACEITE	17	mm-in	ASTM A516	
1	1	TAPA INFERIOR	16	mm-in	PTFE	N7, N8 TORNEADO FINO
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

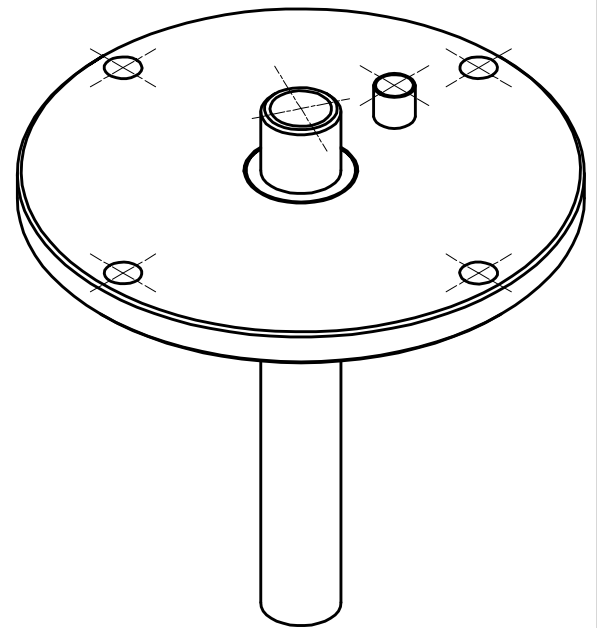
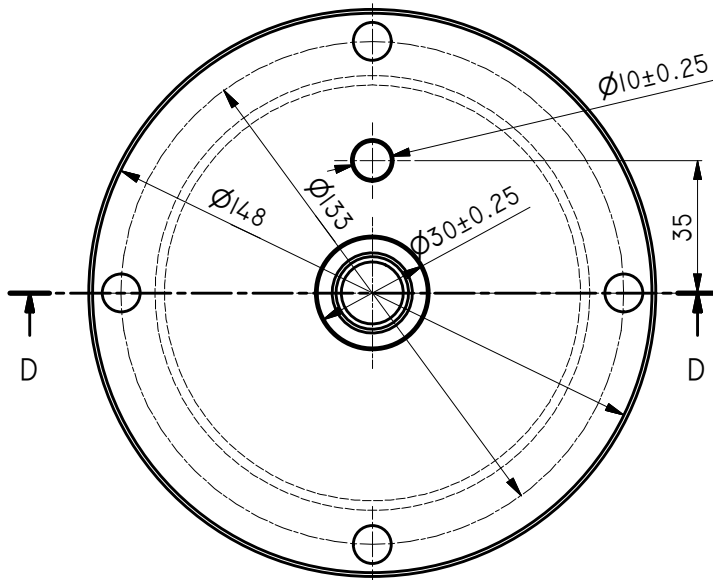
	FECHA	APELLIDOS		U M S A		
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI				
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		FACULTAD DE TECNOLOGÍA		
APROBADO						
ESCALA	TAPA Y CONDUCTO INFERIOR DE CONTENEDOR HÚMEDO			MECÁNICA INDUSTRIAL		
INDICADA						



CORTE D-D
ESCALA 1:10

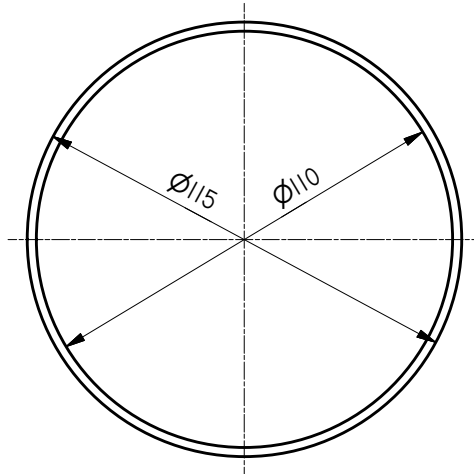
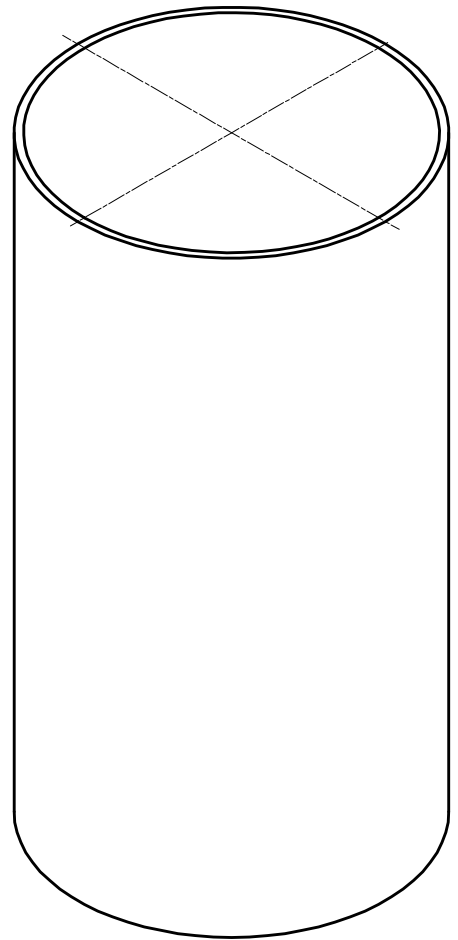
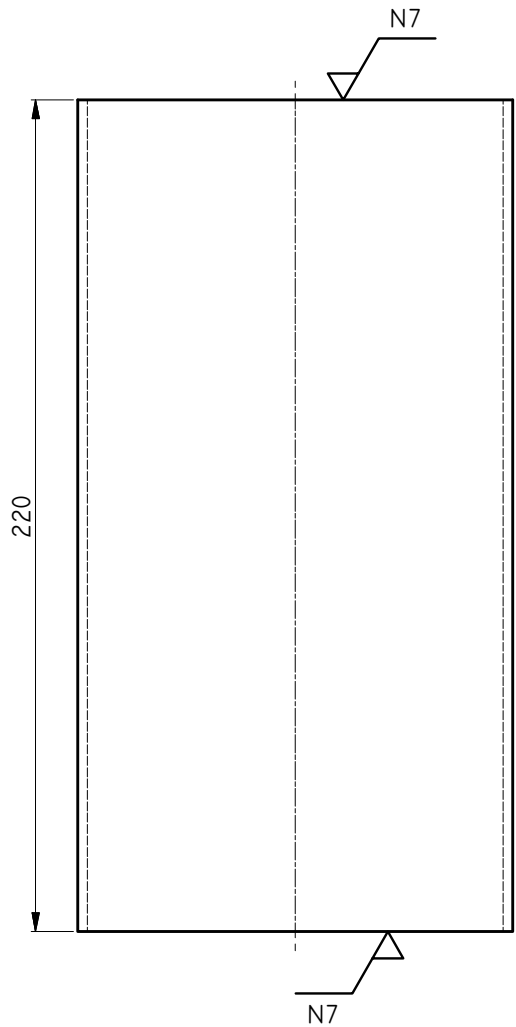


DETALLE AF
ESCALA 2:1



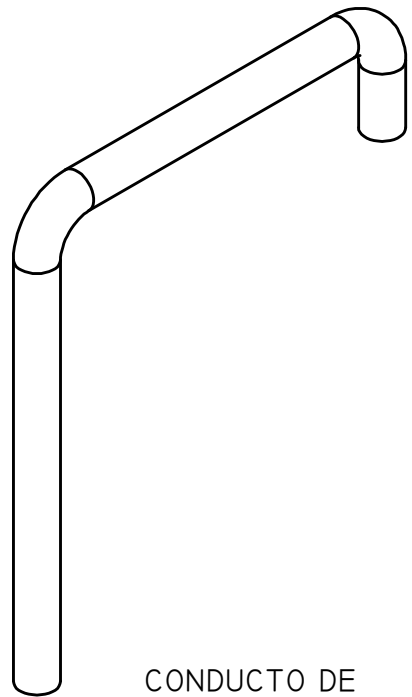
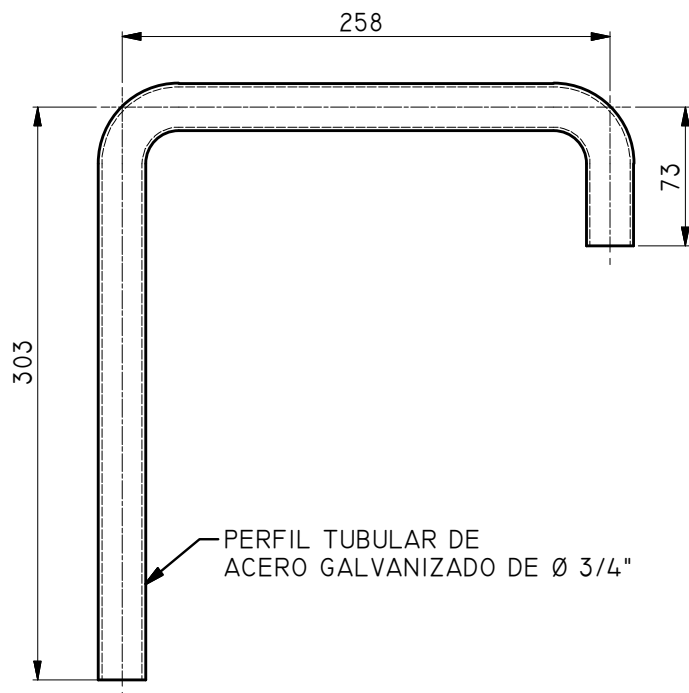
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES
2	1	TAPA SUPERIOR	20	mm	PTFE	N7, N8 TORNEADO FINO
1	1	CONDUCTO DE CONTENEDOR	19	mm - in	ASTM A516	

FECHA	APELLIDOS	U M S A	
DIBUJADO 20/05/22	PUÑO MAMANI	FACULTAD DE TECNOLOGÍA	
REVISADO 13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		
APROBADO			
ESCALA INDICADA	TAPA Y CONDUCTO SUPERIOR DE CONTENEDOR HUMEDO	MECÁNICA INDUSTRIAL	
		PLANO N° II	

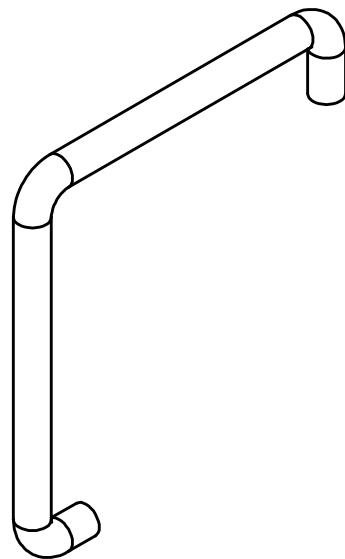
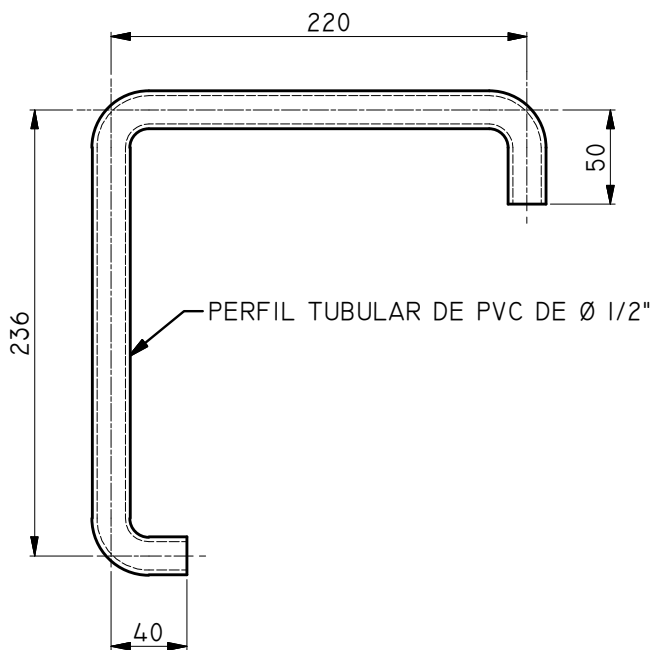


1	1	CONTENEDOR HÚMEDO	21	mm	PP	
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

	FECHA	APELLIDOS		U M S A		
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI		FACULTAD DE TECNOLOGÍA		
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ	MECÁNICA INDUSTRIAL			
APROBADO						PLANO N° 12
ESCALA	CONTENEDOR HÚMEDO					
1:2						

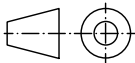


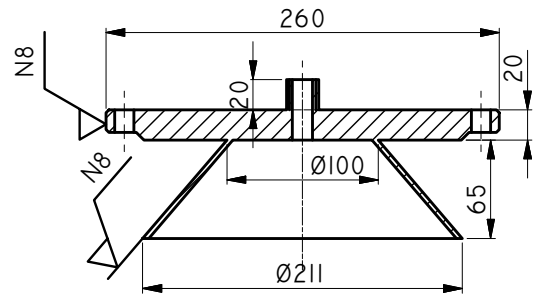
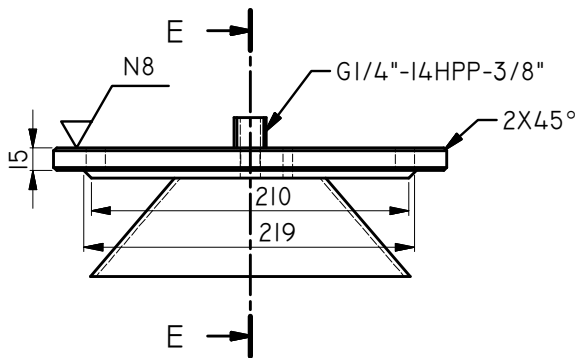
CONDUCTO DE CONTENEDOR



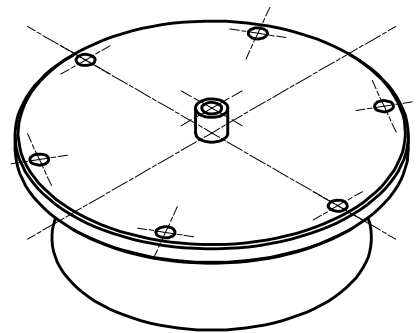
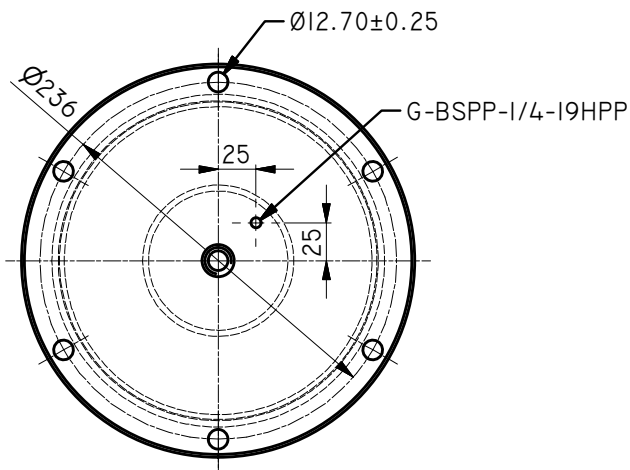
CONDUCTO DE FILTRO

2	1	CONDUCTO DE REACTOR	23	mm		
1	1	CONDUCTO DE CONTENEDOR	22	mm		
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

	FECHA	APELLIDOS		U M S A		
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI				
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		FACULTAD DE TECNOLOGÍA		
APROBADO						
ESCALA	CONDUCTOS DE REACTOR Y CONTENEDOR			MECÁNICA INDUSTRIAL		
1:10				PLANO N° 13		

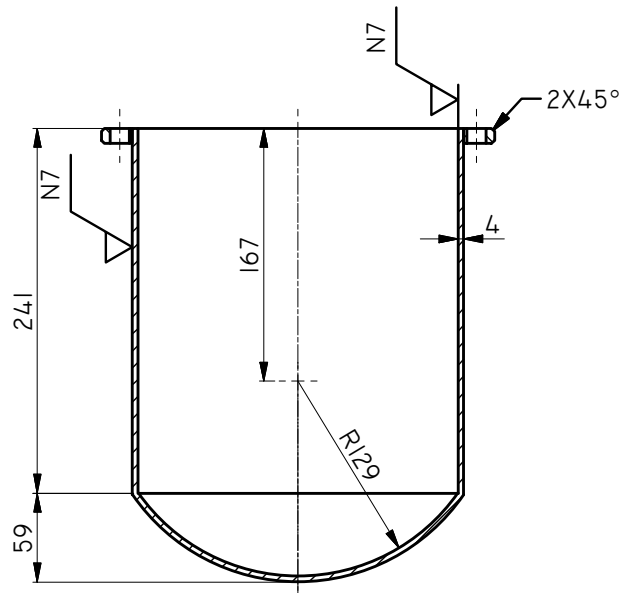
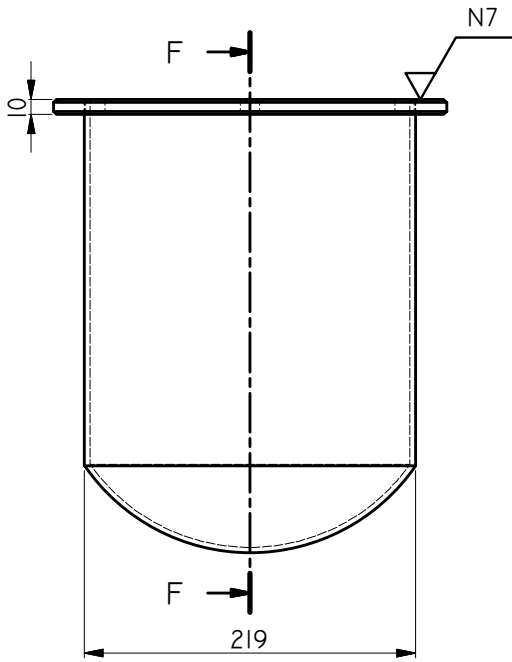


CORTE E-E
ESCALA 1:5

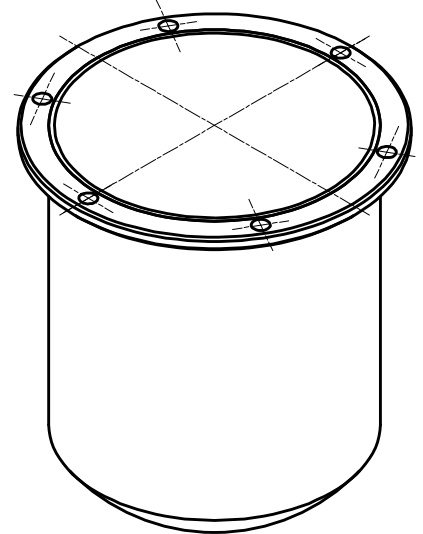
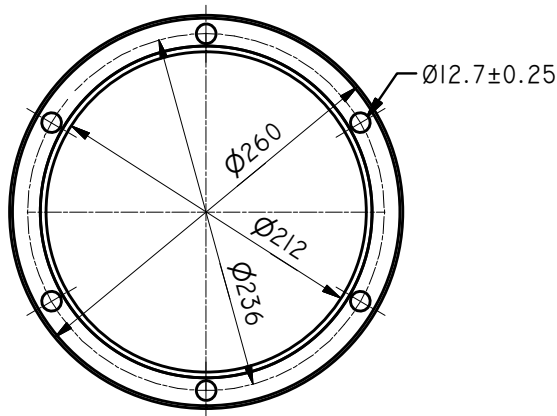


1	1	TAPA REACTOR	25	mm-in	ASTM A516	
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

	FECHA	APELLIDOS		<p style="text-align: center;">U M S A</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE TECNOLOGÍA</p> <p style="text-align: center;">MECÁNICA INDUSTRIAL</p> <p style="text-align: center;">PLANO N° 14</p>
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI		
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		
APROBADO				
ESCALA	TAPA DEL REACTOR			
1:5				



CORTE F-F
ESCALA 1:5



I	I	REACTOR	27	mm	ASTM A516 GR70	
Nº	CANT.	DENOMINACIÓN	Nº ELEM.	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES

	FECHA	APELLIDOS		U M S A		
DIBUJADO	20/05/22	PUÑO MAMANI				
REVISADO	13/10/22	ESPINOZA GUTIERREZ		FACULTAD DE TECNOLOGÍA		
APROBADO				MECÁNICA INDUSTRIAL		
ESCALA	REACTOR			PLANO N° 15		
1:5						