

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

"Rediseño de un Sistema Óleo Hidráulico de Extracción de
Manteca de Cacao"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentado por:

Alex Ricardo González Bustos
Francisco Isaac Peña Chila

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos encontrar el camino correcto para el desarrollo de este proyecto.

A nuestros padres y familiares quienes con su apoyo y consejos nos permitieron salir adelante y cumplir nuestros objetivos de estudio.

Agradecemos también al Ing. Gonzalo Zabala e Ing. Emérita Delgado quienes desde un inicio brindaron su total apoyo, aportando consejos y directrices que nos encaminaban siempre al cumplimiento de los cronogramas establecidos para el desarrollo del proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

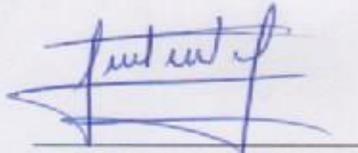
"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Alex Ricardo González Bustos

Francisco Isaac Peña Chila

Gonzalo Rodolfo Zabala Ortiz

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".



Alex Ricardo González B.



Francisco Isaac Peña Ch.



Ing. Gonzalo Rodolfo Zabala O.
Director

RESUMEN

El Ecuador es un país productor de cacao y elaborados de cacao los cuales pueden ser exportados para ser usados en la industria cosmética, chocolatería, bebidas, entre otros. Dentro de los productos elaborados del cacao que se exportan, está la manteca de cacao, la cual tiene como materia prima el licor de cacao. En nuestro país, la extracción de manteca de cacao se realiza de manera artesanal usando prensas hidráulicas manuales. Partiendo de una prensa hidráulica de tipo manual, se rediseña la cámara de extracción para obtener una mejor relación entre la robustez y capacidad. Conjuntamente, se reemplaza el sistema manual de prensado implementando un sistema de control el cual es comandado desde un tablero para facilitar al operador la labor de prensado. En el proceso de re diseño de la cámara de extracción se tomó en cuenta parámetros de control y materiales requeridos para el proceso de prensado para lo cual se estableció la fuerza de prensado en 50 MPa, la temperatura del licor de cacao en 95 a 105 °C y el material usado en todos los elementos que estén en contacto con el licor de cacao y sus derivados a obtener será acero AISI 304. Al cambiar las dimensiones de la cámara de extracción se incrementó la capacidad para procesar el licor de cacao y añadiendo mecanismos de sujeción se facilitó la manipulación al momento de alinear y desmontar los elementos para el proceso de prensado. Mediante la implementación de un tablero de control, el desgaste físico del operario del equipo por jornada de trabajo, se redujo, y permitió al operario controlar la temperatura y presión durante el proceso de prensado. En definitiva el re diseño del sistema de extracción de manteca de cacao aumentó la capacidad de procesamiento, disminuyo el desgaste físico del operario y le permite controlar de manera eficientemente los parámetros de temperatura y presión durante el proceso.

Palabras Clave: Cámara de Extracción, Manteca de Cacao, Prensado de licor de cacao

ABSTRACT

Ecuador is a country producer of cocoa and cocoa base products, which are exported for their employment in cosmetics, chocolate, drinks and more. Amongst the exported cocoa based products, we have cocoa butter, which has cocoa liquor as its raw material. In our country, the cocoa butter extraction is performed in a craftsmen manner, using manual hydraulic presses. Beginning with the manual type hydraulic press, the extraction chamber is redesigned for a better association between robustness and capacity. Also, the manual pressing system is replaced implementing a control system which is operated from a control board to facilitate the operator's work. On the extraction chamber redesigned process, it was taken into account some control parameters and some materials required for the pressing process, in order to establish a pressing force of 50MPa, the cocoa liquor temperature was set at 95 to 105 °C, and for all the materials in contact with the cocoa liquor and its derivatives, will be steel AISI 304. By changing the size of the extraction chamber, the capacity to process cocoa liquor increased, and by adding restraint mechanisms, the process of handling and removing of elements was facilitated. By implementing a control board, the physical wear of the operator per working day was reduced, allowing the operator to control the temperature and pressure during the pressed procedure. In the end, the redesign of the cocoa butter extraction system, increased the processing capacity, decreased the operator's physical wear and allows controlling the temperature and pressure parameters so efficiently.

Keywords: *Extraction chamber, Cocoa butter, Cocoa liquor pressing.*

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	IV
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE PLANOS	XI
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUCCIÓN	
1.1. Descripción del problema.	1
1.2. Objetivos.	2
1.3. Marco Teórico.	3
1.3.1. Proceso para la obtención de manteca de cacao.	3
1.3.2. Propiedades del licor de cacao.	3
1.3.3. Proceso de prensado del licor de cacao.	5
1.3.4. Propiedades de la manteca y la torta de cacao.	6
CAPÍTULO 2	
2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.	8
2.1. Parámetros de controles relevantes y limitantes, en el rediseño de la prensa oleo hidráulica para la extracción de manteca de cacao.	8
2.1.1. Presión de diseño.	8
2.1.2. Temperatura de prensado.	8
2.1.3. Tiempo de prensado.	8
2.1.4. Cantidad de materia prima.	8
2.2. Análisis de alternativas y selección de diseño.	8
2.2.1. Análisis de alternativas.	9
2.3. Selección de diseño.	10
2.3.1. Simplicidad de diseño.	10
2.3.2. Capacidad de prensado.	10
2.3.3. Costo de materiales y equipos.	10
2.3.4. Seguridad y uso del diseño.	10
2.3.5. Capacidad de adaptación a otras materias primas.	10
2.4. Diseño de forma de la solución.	11
2.5. Diseño detallado de la cámara de extracción.	14
2.5.1. Selección de dimensiones del vaso de extracción.	14
2.5.2. Diseño de espesor del vaso de extracción.	15
2.5.3. Diseño del pistón y la base de la cámara de extracción.	17
2.5.4. Criterios de selección los componentes del sistema oleo hidráulico.	20

2.5.4.1. Criterios de selección del cilindro hidráulico.	20
2.5.4.2. Criterio de selección del conjunto de potencia hidráulica.	21
2.5.4.3. Selección del equipo de potencia hidráulico.	23
2.6. Diseño de la estructura base.	24
2.6.1. Vigas transversales.	24
2.6.2. Diseño de columnas.	25
2.6.3. Diseño de la junta soldada.	27
CAPÍTULO 3	
3. RESULTADOS.	29
3.1. Resultados de la simulación en Autodesk Inventor	29
3.1.1. Simulación de la estructura base.	29
3.1.2. Simulación de la cámara de extracción.	30
3.1.2.1. Simulación del punzón de la cámara de extracción.	31
3.1.2.2. Simulación del Cilindro de la cámara de extracción.	32
3.1.2.3. Simulación base perforada.	34
3.1.2.4. Simulación de pistón de la cámara de extracción.	36
3.2. Comparación operativa del sistema manual vs el sistema oleo-hidráulico de extracción.	37
3.3. Costos.	39
3.4. Análisis costo beneficio.	42
CAPÍTULO 4	
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
4.1 Conclusiones.	44
4.2 Recomendaciones.	45

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral.
ASTM American Society for Testing and Materials.
AISI American Iron and Steel Institute.
INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización.
AISC American Institute of Steel Construction.

SIMBOLOGÍA

lb	Libras
in ²	Pulgada cuadrada
MPa	Mega Pascales
kg	Kilogramo
m ²	Metro cuadrado
m/m	Porcentaje de masa en masa
u.f.c.	Unidad formadora de colonias
g	Gromo
R.E.P	Recuento estándar en placa
k	Kilo
KN	Kilo newton
mm	Milímetro
dv	Diámetro de vaso
hv	Altura de vaso
P	Presión
F	Fuerza
A	Área
d ²	Diámetro al cuadrado
π	Pi (constante equivalente a 3,1416)
ρ	Densidad
h	Altura
m	Masa
V	Volumen
σ_a	Esfuerzo admisible para el material
S_y	Esfuerzo de fluencia
<i>F.S</i>	Factor de seguridad
σ_w	Esfuerzo tangencial máximo
b ²	Radio exterior al cuadrado
a ²	Radio interior al cuadrado
t	Espesor de cilindro
A_c	Área de acople
τ_a	Esfuerzo cortante admisible
in	Pulgadas
g	Gravedad
<i>Ton</i>	Toneladas
Psi	Libras por pulgada cuadrada
P_w	Presión de trabajo
A_f	Área Efectiva
V_r	Volumen de aceite requerido
f_w	Factor de Trabajo

V_c	Volumen de aceite en cilindro
A_f	Área efectiva de pistón de cilindro
M	Momento de flexión máximo
σ_c	Esfuerzo de carga
Z	Módulo de resistencia
L_e	Longitud efectiva
r_{min}	Radio de giro mínimo
K	Factor de fijación
P_{cr}	Carga Crítica.
E	Módulo de elasticidad
$^{\circ}C$	Grados Celsius
W	Wattios

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Prensa de Laboratorio con estructura base	6
Figura 2: Prensa hidráulica automática con guías	9
Figura 3: Prensa con estructura base capacidad 1,8 kg	10
Figura 4: Diseño de forma del sistema de extracción	12
Figura 5: Diseño de la cámara de extracción.	13
Figura 6: Esquema básico de circuito oleo hidráulico y sus componentes.	13
Figura 7: Esquema del circuito hidráulico propuesto.	14
Figura 8: Esquema de cilindros de pared gruesa.	16
Figura 9: Esquema del pistón	17
Figura 10: Diámetro del acople	17
Figura 11: Esquema de la base perforada	19
Figura 12: Forma de la base perforada	19
Figura 13: Conjunto de potencia hidráulico.....	22
Figura 14: Diagrama de carga de viga con doble empotramiento -	24
Figura 15: Grafico Ce vs resistencia a la fluencia del Acero	26
Figura 16: Geometría de la unión soldada.	27
Figura 17: Esfuerzo máximo encontrado en la base estructura.	29
Figura 18: Deformación máxima de la estructura base.	30
Figura 19: Distribución del coeficiente de seguridad	30
Figura 20: Tensión de Von Mises punzón.	31
Figura 21: Deformación del punzón	32
Figura 22: Coeficiente de seguridad punzón.	32
Figura 23: Tensión Von Mises cilindro	33
Figura 24: Deformación del cilindro	33
Figura 25: Coeficiente de seguridad del cilindro.	34
Figura 26: Tensión Von Mises base perforada.....	35
Figura 27: Deformación de base perforada.....	35
Figura 28: Coeficiente de seguridad de base perforada	35
Figura 29: Tensión Von Mises pistón	36
Figura 30: Deformación del pistón.....	37
Figura 31: Coeficiente de seguridad pistón.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Exportaciones del cacao y sus derivados.	1
Tabla 2: Requisitos para el licor de cacao.	4
Tabla 3: Requisitos microbiológicos para el licor de cacao.	4
Tabla 4: Propiedades físicas químicas del licor de cacao.	5
Tabla 5: Presiones de extracción según varios autores.	5
Tabla 6: Requerimientos de la manteca de cacao.	6
Tabla 7: Requisitos del polvo de cacao.	7
Tabla 8: Requisitos microbiológicos del polvo de cacao.	7
Tabla 9: Especificaciones de prensa hidráulica automática con guías.	9
Tabla 10: Matriz de selección del diseño.	11
Tabla 11: Diámetro vaso vs fuerza requerida.	15
Tabla 12: Cilindros hidráulicos encontrados en el mercado.	21
Tabla 13: Tiempos de trabajo para cilindros hidráulicos.	23
Tabla 14: Configuraciones bomba-cilindro en el mercado.	23
Tabla 15: Resumen simulación punzón.	31
Tabla 16: Resultados simulación cilindro de extracción.	32
Tabla 17: Resultados simulación de base perforada.	34
Tabla 18: Resultados simulación pistón.	36
Tabla 19: Comparativa entre sistema manual y sistema rediseñado de extracción.	38
Tabla 20: Costos de materiales de la base estructura.	39
Tabla 21: Costos materiales cámara de extracción.	40
Tabla 22: Costo materiales del sistema eléctrico.	41
Tabla 23: Costo materiales del sistema hidráulico.	42
Tabla 24: Costo de mano de obra.	42
Tabla 25: Resumen de costos del proyecto.	43
Tabla 26: Comparación costos sistemas manual vs rediseño propuesto.	43
Tabla 27: Aumento de ingresos estimado.	44

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1: PLANO ELÉCTRICO.	69
PLANO 2: PUNZÓN.	70
PLANO 3: PISTÓN.	71
PLANO 4: CILINDRO.	72
PLANO 5: BASE PERFORADA.	73
PLANO 6: BASE RECEPTORA.	74
PLANO 7: BASE ESTRUCTURA.	75
PLANO 8: MALLA DE SEGURIDAD	76

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema.

En Ecuador existe una variedad de cacao conocido como “Sabor Arriba” el cual es muy cotizado en el mercado internacional por sus características de aroma y sabor, el cual se exporta como granos de cacao o como productos intermedios en el proceso del chocolate como son el licor, la manteca, el polvo de cacao, además de chocolates y preparaciones que contienen cacao. Los volúmenes de exportación se presentan en la tabla 1.

TABLA 1
EXPORTACIONES DEL CACAO Y SUS DERIVADOS.

Principales Subpartidas	Unidades	Ene-Abr			Variación		Part. 2013
		2012	2013	2014	2012 - 2013	2013 - 2014	
1801.00.19.00 CACAO EN GRANO CRUDO, LOS DEMÁS EXCEPTO PARA SIEMBRA	Fob Miles USD	126,693	137,776	160,576	8.75%	16.55%	82.73%
	Toneladas	55,354	63,348	56,113	14.44%	-11.42%	89.47%
1803.10.00.00 PASTA DE CACAO SIN DESGRASAR	Fob Miles USD	6,559	7,624	8,000	16.24%	4.94%	4.58%
	Toneladas	2,095	2,707	2,351	29.24%	-13.17%	3.82%
1806.90.00.00 LOS DEMÁS CHOCOLATES Y PREPARACIONES ALIMENTICIAS QUE CONTENGAN CACAO	Fob Miles USD	5,823	5,779	4,892	-0.76%	-15.34%	3.47%
	Toneladas	263	273	216	3.87%	-20.84%	0.39%
1805.00.00.00 CACAO EN POLVO SIN ADICION DE AZUCAR NI OTRO EDULCORANTE	Fob Miles USD	9,876	5,705	3,848	-42.24%	-32.55%	3.43%
	Toneladas	2,141	1,411	1,492	-34.10%	5.71%	1.99%
1804.00.12.00 MANTECA DE CACAO CON UN INDICE DE ACIDEZ EXPRESADO EN ÁCIDO OLEICO ENTRE 1% Y 1.65%	Fob Miles USD	5,361	5,125	8,938	-4.41%	74.40%	3.08%
	Toneladas	1,900	1,448	1,353	-23.79%	-6.58%	2.04%
OTROS PRODUCTOS	Fob Miles USD	4,488	4,519	10,459	0.69%	131.42%	2.71%
	Toneladas	1,411	1,619	2,930	14.71%	80.98%	2.29%
TOTAL	Fob Miles USD	158,800	166,528	196,712	4.87%	18.13%	100.00%
	Toneladas	63,164	70,807	64,454	12.10%	-8.97%	100.00%

Fuente: [7]

Se observa que en 2013 la exportación principal del sector fue grano crudo (82,73%), mientras que los productos derivados son una pequeña fracción del total de exportaciones (17,27%) lo que nos hace un país exportador principalmente de materia prima. Uno de los principales problemas que ocasionan la desigualdad de estas exportaciones es la falta de información y el poco desarrollo de tecnología local que pueda abaratar, tecnificar y optimizar los procesos de obtención de los derivados de cacao.

El alto costo de adquisición e importación de la maquinaria necesaria obliga a los productores a implementar prensas o molinos artesanales que no cumplen con los requerimientos mínimos del proceso.

Para dar solución a este problema, anteriormente se diseñó una prensa de extracción manual de manteca de cacao con fines experimentales, sin embargo se ha visto la necesidad de rediseñar sus componentes para poder optimizar la relación costo beneficio y hacer el proceso semiautomático.

La finalidad de este proyecto es rediseñar un sistema oleo-hidráulico de prensado de licor o pasta de cacao para la extracción de manteca de cacao, el cual deberá cumplir con las siguientes condiciones:

- La presión de licor de cacao debe garantizar el proceso de separación de manteca de cacao.
- La temperatura del proceso de prensado debe situarse entre 95-100 °C, para lo cual se debe tener un sistema de calentamiento para el proceso.
- Su operación no dependerá de la fuerza del operador, pues se contará con mandos semiautomáticos instalados en un panel de control.
- Debe tener dispositivos que puedan censar la temperatura y la presión del proceso directa o indirectamente.
- La relación entre la robustez y volumen de la máquina debe ser mínima, sin sacrificar la seguridad del operador ni la integridad de la máquina.
- Debe ser diseñada para poder procesar 1,5 kg de licor de cacao.
- Los materiales con los cuales está constituida la máquina serán fáciles de adquirir en el mercado nacional, además de cumplir con las normas de higiene y salud.
- Se diseñará el sistema en el programa Autodesk Inventor.

Todo lo anteriormente expuesto hará que su costo de implementación sea accesible para la industria mediana de productores de cacao y sus derivados, con el fin de que su producción incremente.

1.2. Objetivos.

Objetivos principales

- Rediseñar y optimizar un banco experimental óleo hidráulico, para la extracción de manteca de cacao que utiliza 1 kilogramo de licor de cacao como materia prima.
- Diseñar un sistema de control para que el proceso de extracción de manteca sea semiautomático.

Objetivos secundarios

- Optimizar la relación robustez-volumen del sistema para reducir costos.
- Modelar el sistema usando el programa AUTODESK INVENTOR.

1.3. Marco teórico.

1.3.1. Proceso para la obtención de manteca de cacao.

El proceso industrial que se lleva a cabo para la obtención de manteca a partir del fruto de cacao es el siguiente:

Recolección: Una vez que los frutos maduros del árbol de cacao son recolectados, se cortan con la finalidad de sacar los granos de cacao de la mazorca, teniendo cuidado de no cortar las semillas, y usando los dedos para quitar las semillas de la placenta.

Fermentación: Se deja fermentar los granos junto a la pulpa en un mismo lugar cubriéndolos tradicionalmente con hojas de plátano, aunque se pueden usar otros métodos, como es colocarlos bajo cubiertas, en sacos de yute o en cajones de madera, donde cada 48 horas se los remueve o voltea con la finalidad que la fermentación sea uniforme.

Secado: Es uno de los procesos tradicionales por el cual se elimina gran parte de la humedad del grano. Se secan los granos naturalmente con el calor del sol, esparciéndolos sobre tendales (asfalto o cemento) por varios días y protegiéndolos de la lluvia. En lugares donde el clima no es suficientemente seco se usan quemadores de G.L.P

Limpieza: Se procede a la limpieza de los granos (denominados almendras), retirando adherencias vegetales o cualquier objeto extraño que pudieran contener.

Tostado: Se someten los granos a temperaturas de hasta 140°C con la ayuda de secadores industriales para tostarlos, con la finalidad de realzar su aroma y sabor. De esta manera se previene también la aparición de microorganismos como la Salmonella, y se desprende la cáscara.

Descascarillado: Este proceso consiste en triturar los granos para poder separar los cotiledones o “nibs” de sus cáscaras. Las máquinas usadas en este proceso son llamadas “crusher” o “winowers”.

Molido: Se muelen los “nibs” de cacao para poder obtener el licor o pasta de cacao. Por otra parte, es necesario indicar que la temperatura y el grado de molido depende del tipo de grano a usarse.

Prensado: El licor de cacao es prensado para extraer la manteca de cacao que representa el 50% del peso total. El resultado, además de la manteca de cacao, es también la torta de cacao, la cual es una masa sólida que al triturarse permite obtener polvo de cacao. La manteca de cacao junto con el polvo de cacao son materias primas de otros procesos que permiten obtener derivados como: bebidas, chocolates, golosinas y cremas de uso cosmético, etc.

1.3.2. Propiedades del licor de cacao.

La norma ecuatoriana INEN 623 define al licor o pasta de cacao como “*el producto obtenido por la desintegración mecánica de granos de cacao*”

adecuadamente fermentados y secos que previamente hayan sido sometidos a limpieza, descascarado y tostado, prácticamente exentos de toda clase de impurezas” Se define además la pasta de cacao soluble como, “la pasta de cacao que ha sido sometida a proceso adecuado de solubilización y/o alcalinización”

En ese mismo sentido el licor de cacao debe cumplir con los siguientes parámetros de acuerdo a la norma INEN 623.

La tabla 2 muestra los requerimientos y la tabla 3 los requisitos microbiológicos del licor del cacao.

**TABLA 2
REQUISITOS PARA EL LICOR DE CACAO NORMA INEN 623.**

REQUISITOS	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de Ensayo
Grasa	%	48	54	INEN 535
Humedad	%	—	3	INEN 1 676
Almidón natural de cacao	%	8,5	9,0	INEN 636
Fibra cruda	%	—	4,7	INEN 534
Cenizas totales	%	—	7,5	INEN 533
			alcalinizada 5 normal	

Fuente: [12]

**TABLA 3
REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS PARA EL LICOR DE CACAO NORMA INEN 623.**

REQUISITOS	UNIDAD	MÁXIMO	MÉTODO DE ENSAYO
Mohos y levaduras	u.f.c*/g	100	INEN 1 529
Coniformes	u.f.c*/g	10	INEN 1 529
E. Coli	u.f.c*/g	1	INEN 1 529
Salmonella	u.f.c*en 25 g	0	INEN 1 529
u.f.c. = unidades formadoras de colonias			

Fuente: [12]

La tabla 4 muestra algunas propiedades útiles del licor de cacao, las cuales serán de utilidad en el proceso de diseño.

TABLA 4
PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS DEL LICOR DE CACAO.

ESTANDARES FÍSICO-QUÍMICOS DEL LICOR DE CACAO	
Humedad	1.5% máximo
PH	5.3 a 7.0
Cascarilla	1.5% máximo
Finura	98.5 a 99.5% pasante sobre un tamiz de 75 micras.
Grasa de Cacao:	50% mínimo
Viscosidad	20.0 poise (a 40°C)
Densidad	1.08 ± 0.2 Kg/lit
Cenizas	3.5 a 4.0 %

Fuente: [2]

1.3.3. Proceso de prensado del licor de cacao.

Es el proceso de separar la manteca de cacao del licor de cacao, por medios físicos, sometiéndolo a una alta presión, y obteniendo también otro producto llamado torta de cacao. Los valores de presión encontrados en los recursos bibliográficos se muestran en la tabla 5.

TABLA 5
PRESIONES DE EXTRACCIÓN SEGÚN VARIOS AUTORES.

Autor	Presión extracción	Presión MPa
Minifie	6000 psi	41,37 MPa
Becketh	540 Bares	54 MPa
Yanes	500 kg/cm ²	49,03 MPa

El valor de presión de 54 MPa es de una prensa horizontal de altas prestaciones que puede reducir el contenido de grasa en la torta hasta en un 10%, caso que se comprueba con el sitio web "Cocoa & Chocolate" [4], donde se enuncia que para empezar a extraer grasa del licor de cacao se debe aplicar una presión de al menos 350 bares. Pero el valor de 500 kg/cm² propuesto por Yanes [13], y corroborado en el trabajo de Morales [8], donde se obtuvieron porcentajes de extracción de 82%, prueba que se debe llegar a una presión de 50 MPa para garantizar una extracción superior al 82%. Además el proceso requiere un filtrado utilizando una malla metálica de 200 mesh [6]. El tamaño de finura de la malla garantiza que las partículas sólidas del polvo de cacao se queden del lado de la torta de cacao y no pasen hacia la manteca.

El tipo de prensa más común utilizado en la industria es la oleo hidráulica de vaso caliente (figura 1). El licor de cacao se debe mantener en un rango de temperatura alrededor de 95 a 105°C [6], para evitar que se pierdan propiedades organolépticas o se quemé el producto.



FUENTE: [4]

FIGURA 1: PRENSA DE LABORATORIO CON ESTRUCTURA BASE

1.3.4. Propiedades de la manteca y la torta de cacao.

La manteca de cacao se define según la Norma ecuatoriana INEN 2758 como “la grasa obtenida del cacao en grano”. La composición de los ácidos de la manteca permite que esta sea resistente a su auto oxidación y al deterioro microbiológico y su temperatura de fusión es de 35°C [1]. La tabla 6 muestra los requerimientos de la manteca de cacao según la norma INEN, teniendo en cuenta que el término “insaponificable” es la propiedad de algunas grasas de no poder ser convertidas en jabón.

**TABLA 6
REQUERIMIENTOS DE LA MANTECA DE CACAO NORMA INEN 2758**

- contenido en ácidos grasos libres (expresado como ácido oleico):	no más del 1,75% m/m
- materia insaponificable:	no más del 0,7% m/m, excepto en el caso de la manteca de cacao prensado que no debe ser superior al 0,35% m/m

Fuente: [12]

Se define la torta de cacao como “el producto obtenido al eliminar una parte de la grasa existente por medio de prensado mecánico”, según norma INEN 620, y su contenido de grasa esta usualmente entre el 10 y 24% [1].

Por otra parte, la torta de cacao es dura y requiere ser pulverizada para que pueda ser transformada en polvo de cacao. Esta presentación es la más adecuada para su comercialización.

Cabe destacar que las propiedades del polvo dependen de la calidad de los procesos anteriores, como son el prensado, el tipo de grano seleccionado, entre otros.

La tabla 7 muestra los requisitos físico-químicos del polvo de cacao y la tabla 8 los requisitos microbiológicos según la norma ecuatoriana INEN 620. Siendo estos los valores característicos de las propiedades físicas y químicas del polvo de cacao.

TABLA 7
REQUISITOS DEL POLVO DE CACAO NORMA INEN 620

REQUISITO	UNIDAD	CACAO EN POLVO		CACAO EN POLVO SOLUBLE		MÉTODO DE ENSAYO
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Humedad o pérdida por calentamiento	%	—	5	—	6	INEN 1 676
Contenido de grasa	%	8	28	8	28	INEN 535
Cenizas totales	%	—	9	—	10	INEN 533
Cenizas insolubles en ácido	%	—	0,2	—	0,2	INEN 532
Alcalinidad de las cenizas (en carbonato de - potasio)	%	—	5	—	10	INEN 637
Fibra cruda	%	—	6	—	7	INEN 534
Contenido de almidón	%	—	20	—	20	INEN 636
pH en suspensión al 10%		5,2	6,1	6,8	7,2	*

* Hasta que exista la respectiva norma INEN la determinación se efectuará siguiendo los métodos de ensayo convencionales normalizados.

Fuente: [12]

TABLA 8
REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS DEL POLVO DE CACAO NORMA INEN 620

REQUISITOS	UNIDAD	MÁXIMO	MÉTODO DE ENSAYO
R.E.P.*	u.f.c**/g	10 000	1 529
Coliformes	u.f.c**/g	10	1 529
E Coli	u.f.c**/g	1	1 529
Salmonella	u.f.c** en 25 g	0	1 529
Mohos y levaduras	u.f.c**/g	100	1 529

*R.E.P. = Recuento estándar en placa.
** u.f.c. = unidades formadoras de colonias.

Fuente: [12]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.

En este capítulo se presenta el proceso del diseño del sistema de extracción de manteca de cacao, tomando como base el diseño de un sistema manual.

En el Anexo 1 se presenta un análisis de los componentes del sistema manual diseñado por Salazar [11]. De este sistema se identificarán los parámetros limitantes y de control, para luego ser adaptados en el rediseño, y proceder a la creación de modelos digitales y selección de equipos.

2.1. Parámetros de controles relevantes y limitantes, en el rediseño de la prensa oleo hidráulica para la extracción de manteca de cacao.

2.1.1. Presión de diseño: el valor de la presión de diseño usado es 50 MPa, este valor garantiza una extracción del 85% de grasa contenida en el licor de cacao según Morales [8]. Además para tener una torta de buena calidad el porcentaje mínimo de grasa que esta debe contener es del 8 al 28% [12]

2.1.2. Temperatura de prensado: el valor de temperatura de operación será de 100°C, así se facilitará el fluir de la manteca por la cámara de extracción. Según Minifie [6], el rango de temperatura de las prensas comerciales es 95 y 105°C.

2.1.3. Tiempo de prensado: el tiempo de extracción estimado es de 20 minutos, esto garantiza la cantidad de grasa obtenida según Minifie [6]. Además se han encontrado registros de prensas que funcionan con tiempos de hasta 15 minutos [4], esta información se puede observar en el anexo 2.

2.1.4. Cantidad de materia prima: viene dado por la cantidad en masa de licor de cacao a procesar. En este caso es de 1,5 kg, con este valor se dimensiona el vaso del sistema de extracción.

2.2. Análisis de alternativas y selección de diseño.

En esta sección se da a conocer soluciones existentes en el mercado que cumplen con las especificaciones del diseño, para luego elaborar una matriz de selección y poder elegir la mejor solución.

2.2.1. Análisis de alternativas.

Dentro del mercado se puede observar varios tipos de prensas verticales para la obtención de manteca de cacao, entre ellas sobresalen las siguientes opciones:

La figura 2 muestra una de las opciones del mercado, la cual sirve para la extracción de manteca de cacao, pero además sirve para extraer aceite de otro tipo de semillas.



**FIGURA 2: PRENSA HIDRÁULICA AUTOMÁTICA CON GUÍAS
FUENTE: [5].**

Es una máquina fabricada en acero inoxidable y posee mandos de control semiautomáticos. Tiene un cilindro hidráulico vertical que ejerce la fuerza desde la parte inferior y posee un sistema eléctrico que calienta el licor al ser prensado.

Las especificaciones que suministra el proveedor sobre esta máquina se muestran en la tabla 9.

**TABLA 9
ESPECIFICACIONES DE PRENSA HIDRÁULICA AUTOMÁTICA CON
GUÍAS.**

Modelo	CHO-110-PRE-050
Capacidad Alimentación.	8 kg
Potencia de motor	1.5 kwatios
Potencia de calentamiento	2 kwatios
Presión máxima de trabajo	55 MPa
Tiempo de prensado	12 minutos por ciclo
Fuerza de Trabajo	1900 kN
Peso	850 kg
Tamaño	870x780x1350 mm

Fuente: [5]

La figura 3 muestra otro tipo de prensa hidráulica automática, esta posee una estructura base formada por perfiles metálicos, es automática y su capacidad es de 1800 gramos de licor de cacao. Posee un vaso calentado por una resistencia eléctrica, es usada en laboratorios, y podría ser empleada por medianos productores de manteca y polvo de cacao.



**FIGURA 3: PRENSA CON ESTRUCTURA BASE CAPACIDAD 1,8 KG
FUENTE: [3]**

2.3. Selección de diseño

Para poder seleccionar la mejor alternativa de diseño debemos enunciar criterios de decisión, los cuales serán ponderados, para luego hacer una matriz de selección y definir la mejor opción. Estos criterios se enuncian a continuación.

2.3.1. Simplicidad de diseño: esto permitirá poder implementar el diseño en un taller mecánico con recursos limitados de maquinaria y mano de obra, lo que permitirá su fácil construcción.

2.3.2. Capacidad de prensado: Se refiere a la potencia necesaria para extraer manteca de una cantidad dada de licor de cacao. Entre mayor sea la capacidad, mayor será la potencia y robustez de los componentes necesarios.

2.3.3. Costo de materiales y equipos: Materiales y equipos de bajo costo sin implicar sacrificio alguno en calidad ni seguridad del sistema propuesto.

2.3.4. Seguridad y uso del diseño: el diseño debe brindar seguridades para su operación y esta no debe ser compleja de manejar.

2.3.5. Capacidad de adaptación a otras materias primas: el diseño debe adaptarse a otras materias primas para la obtención de otros productos

como otro tipo de granos oleaginosos, lo que podría abrir un mercado para un productor mediano agroindustrial.

Matriz de selección.

La tabla 10 muestra la matriz de selección de diseño, donde están asignados valores de peso en porcentaje a cada criterio y además un puntaje, que va de 1 a 5, donde 1 es el puntaje más bajo, para cada solución. La calificación total es la suma de los productos del puntaje dado por el peso del criterio.

**TABLA 10
MATRIZ DE SELECCIÓN DEL DISEÑO.**

	Simplicidad de Diseño (Peso= 25%)	Capacidad de Prensado (Peso= 20%)	Costo de materiales y Equipos (Peso= 25%)	Seguridad y Uso (Peso= 15%)	Adaptación a otros Productos (Peso= 15%)	Calificación Total
Prensa Estructura Base	5 x 0,25	4 x 0,20	5 x 0,25	4 x 0,15	3 x 0,15	<u>4,35</u>
Prensa con guías	4 x 0,25	5 x 0,20	3 x 0,25	5 x 0,15	5 x 0,15	4,25

Al observar los resultados se selecciona la prensa con estructura base como la mejor opción de diseño.

2.4. Diseño de forma de la solución.

La figura 4 muestra un esquema del sistema de extracción y sus componentes acoplados, las dimensiones dependerán de las características finales de los componentes encontrados en el mercado local. Las medidas están en milímetros.

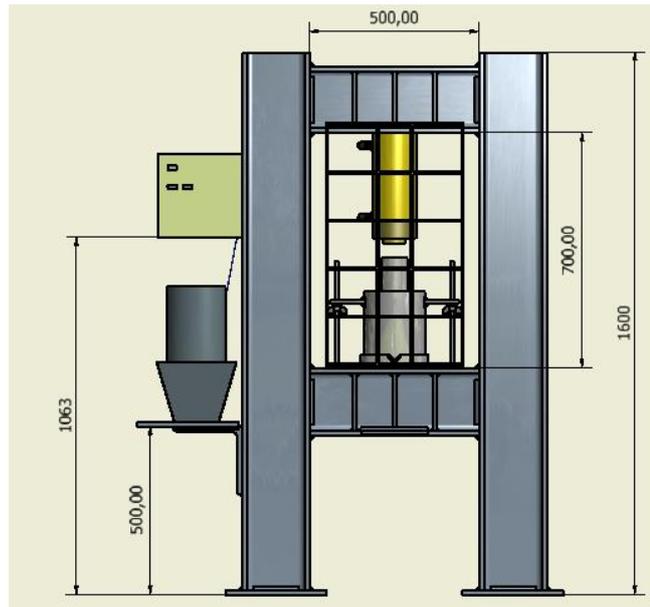


FIGURA 4: DISEÑO DE FORMA DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

El Sistema está conformado por los siguientes subsistemas.

- Cámara de extracción
- Estructura base
- Sistema hidráulico
- Sistema eléctrico y de control.

Cámara de extracción: es donde ocurre el proceso de separación de la manteca de la torta de cacao. Aquí el licor es prensado y conducido a través de una malla filtrante de 200 mesh cuyo material es acero inoxidable AISI 304 para separar la manteca de la torta de cacao. En el anexo 3 se presentan las características de este tipo de malla filtrante.

La figura 5 muestra un diseño de forma de la cámara de extracción propuesta, la fuerza hidráulica mueve el pistón, el licor es comprimido hacia la base perforada, entonces la grasa fluye por la malla filtrante y pasa a través de unos orificios colocados en la base.

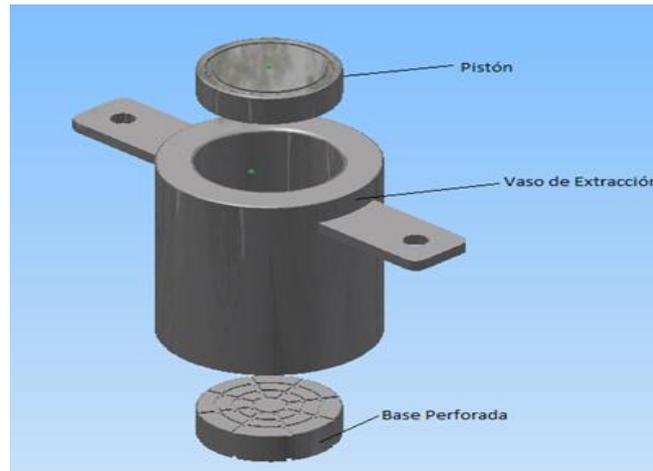


Figura 5: Diseño de la cámara de extracción.

Estructura Base: es el soporte metálico de todos los subsistemas de la prensa, debe diseñarse para soportar la carga generada para prensar el licor de cacao a la presión de diseño.

Sistema hidráulico de potencia: se encarga de generar la potencia mecánica necesaria para prensar el licor de cacao, está conformado por un depósito de aceite, un conjunto motor bomba, válvulas, conductos de direccionamiento y un cilindro hidráulico. La figura 6 muestra los componentes básicos de un circuito hidráulico que mueve un cilindro de doble efecto.

La figura 7 muestra el circuito hidráulico propuesto para el diseño del sistema de extracción. Se seleccionó un cilindro de doble efecto para tener control total de la posición del cilindro, y sin las desventajas de un cilindro de efecto simple cuyo mantenimiento viene dado por el resorte en su interior.

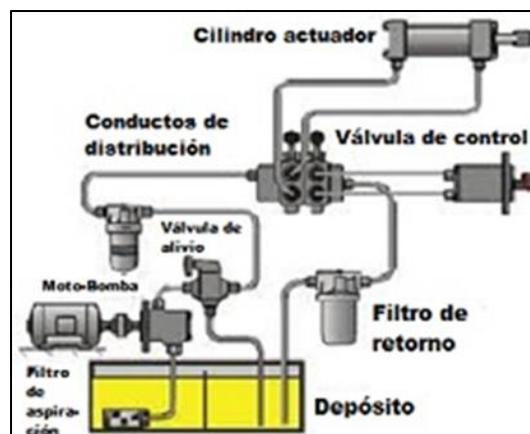


FIGURA 6: ESQUEMA BÁSICO DE CIRCUITO OLEO HIDRÁULICO Y SUS COMPONENTES.

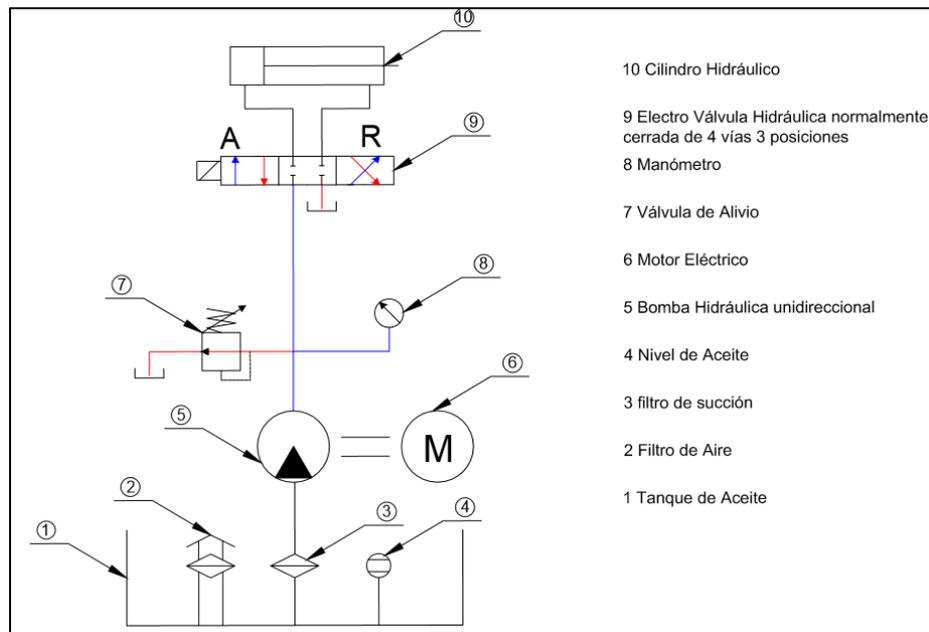


FIGURA 7: ESQUEMA DEL CIRCUITO HIDRÁULICO PROPUESTO.

2.5. Diseño detallado de la cámara de extracción.

Para el diseño de la cámara de extracción se selecciona el acero inoxidable AISI 304 como material de construcción, el cual es idóneo para el manejo de alimentos y bebidas, sus propiedades mecánicas se muestran en el Anexo 4.

2.5.1. Selección de dimensiones del vaso de extracción.

Asumiendo una forma cilíndrica para el vaso, y tomando una relación de diámetro y altura (d_v/h_v) de 0.8, usando la ecuación (2.1):

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Donde

P: Presión requerida para el prensado = 50 MPa.

A: área transversal del pistón en $m^2 = \pi d^2 \text{ vaso}/4$

F: fuerza requerida de trabajo en N

Reemplazando los datos:

$$F = P * A = P * \frac{\pi * d^2 \text{ vaso}}{4}$$

Tomando el valor de la densidad del licor de cacao de la tabla 4 y usando la ecuación (2.2):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.2)$$

ρ : densidad del licor de cacao

m : masa del licor de cacao

V : volumen del licor de cacao = $(\pi d^2 \text{ vaso}/4) \times h \text{ vaso}$

Reemplazando el valor del volumen de la ecuación (2.2) y despejando m :

$$m = \frac{4\rho}{\pi * d^2 \text{ vaso} * h \text{ vaso}}$$

En la tabla 11 se encuentran los resultados del área, altura vaso, y volumen del licor para distintos diámetros del vaso:

TABLA 11
DIÁMETRO VASO VS FUERZA REQUERIDA

Diámetro Pistón (mm)	Área (m ²)	Fuerza (N)	Altura vaso (mm)	Volumen vaso (L)	Masa Licor cacao (kg)
100	0,007854	392700	125	0,98	1,07
105	0,008659	432952	131	1,14	1,23
106	0,008825	441238	133	1,17	1,27
107	0,008992	449602	134	1,20	1,31
108	0,009161	458045	135	1,24	1,34
112	0,009852	492603	140	1,38	1,50
114	0,010207	510353	143	1,45	1,58

Para procesar 1,5 kg de licor de cacao se necesita un diámetro de vaso de 112 mm con una altura efectiva de 140 mm y una fuerza de 492603 N para alcanzar los 50 MPa de presión. La altura en la tabla anterior es interna, la altura total del vaso dependerá del espesor de la base y del pistón, en el Anexo 5 se encuentra un diagrama detallado.

2.5.2. Diseño de espesor del vaso de extracción.

El modelo utilizado es un cilindro de pared gruesa sometido a una presión interna de 50 MPa.

El esfuerzo máximo admisible permitido por el acero inoxidable AISI 304 se encuentra dado por la ecuación (2.3), donde se asume un factor de seguridad de 2 para el cilindro:

$$\sigma_a = \frac{S_y}{F.S} \quad (2.3)$$

S_y: Esfuerzo fluencia del acero Inoxidable 304: 225,5 MPa

F.S: Factor de seguridad: 2

σ_a: Esfuerzo admisible para el material.

Reemplazando los valores se tiene:

$$\sigma_a = \frac{225,5 \times 10^6 Pa}{2} = 112,75 \times 10^6 Pa$$

La figura 8 muestra el esquema de los radios del modelo de un cilindro de pared gruesa, b es el radio externo y a el interno.

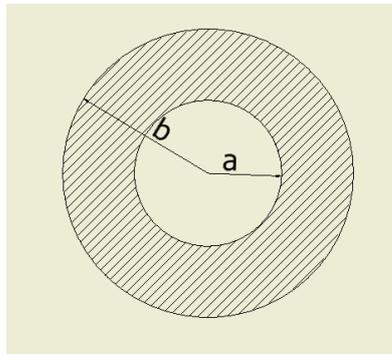


FIGURA 8: ESQUEMA DE CILINDROS DE PARED GRUESA.

La ecuación (2.4) relaciona el máximo esfuerzo tangencial en un cilindro de pared gruesa con la presión interna y los radios según Mott [9]:

$$\sigma_w = \frac{P(b^2+a^2)}{b^2-a^2} \quad (2.4)$$

Donde:

σ_w: esfuerzo tangencial máximo

P: presión interna=50 MPa

b: radio exterior

a: radio interior: 0,056 m

Reemplazando valores en la ecuación (2.4) y dando valores a b de tal forma que σ_a > σ_w, obtenemos que para b= 0,0905 m se tiene:

$$\sigma_w = \frac{50 * 10^6 Pa((0,0905m)^2 + (0,056m)^2)}{(0,0905m)^2 - (0,056m)^2} = 112,05 * 10^6 Pa$$

Entonces el espesor del cilindro es:

$$t = 0,0905 \text{ m} - 0,056 \text{ m} = 34,5 \text{ mm}$$

2.5.3. Diseño del pistón y la base de la cámara de extracción.

El pistón es un cuerpo sometido a compresión axial por la fuerza proporcionada por el cilindro hidráulico. Un esquema del pistón es mostrado en la figura 9 y la figura 10 muestra el máximo valor del diámetro del acople en milímetros.

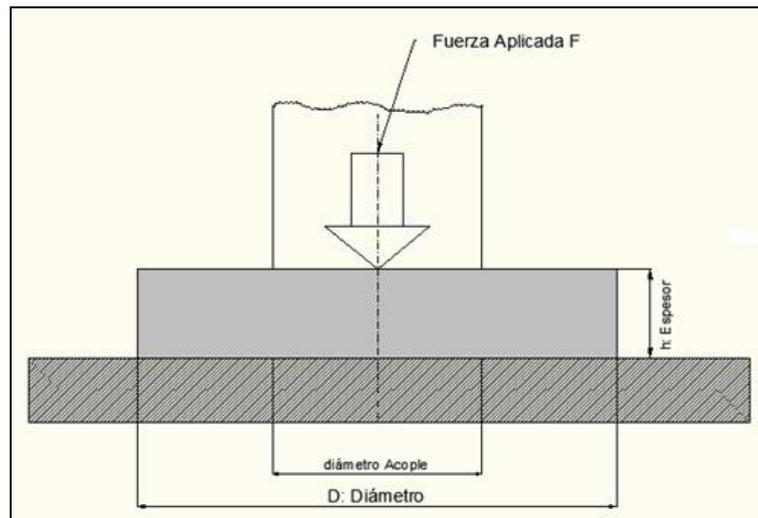


FIGURA 9: ESQUEMA DEL PISTÓN

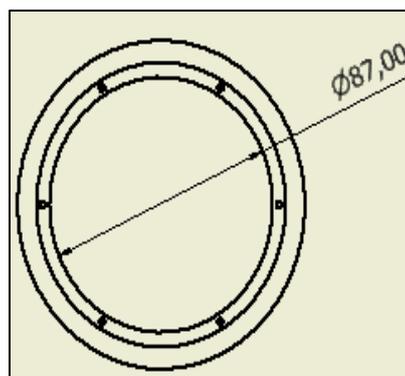


FIGURA 10: DIÁMETRO DEL ACOPLÉ

La dimensión crítica del pistón es la altura o espesor para esto se asume que la fuerza del punzón somete a un esfuerzo cortante al pistón, entonces el área de corte viene dada por la ecuación (2.5)

$$A_c = \pi * d * h \quad (2.5)$$

Donde:

Ac: Área Corte.

d: diámetro del acople que presiona el pistón

h: altura o espesor del pistón.

Además, el máximo esfuerzo cortante admisible viene dado por la ecuación (2.6):

$$\tau_a = \frac{0,5 \cdot S_y}{F.S} \quad (2.6)$$

Donde:

τ_a : Esfuerzo cortante admisible.

S_y : Esfuerzo fluencia acero AISI 304: 225,5 MPa

F.S: Factor de seguridad: 2

Reemplazando los valores anteriormente descritos en la ecuación (2.6), obtenemos el esfuerzo cortante admisible por el material.

$$\tau_a = \frac{0,5 \cdot 225,5 \text{ MPa}}{2} = 56,37 \text{ MPa}$$

La ecuación (2.7) relaciona el esfuerzo cortante con la fuerza ejercida y el área de corte.

$$\tau_a = \frac{F}{A} \quad (2.7)$$

Donde:

F: Fuerza requerida prensado: 492603 N

A: Área de corte.

τ_a : Esfuerzo cortante admisible

Reemplazando los valores en la ecuación (2.7) y siendo el diámetro acople 87 mm entonces:

$$56,37 \text{ MPa} = \frac{492603 \text{ N}}{\pi \cdot 0,087 \text{ m} \cdot h}$$

$$h_{\text{pistón}} = \frac{492603 \text{ N}}{\pi \cdot 56,37 \text{ MPa} \cdot 0,087 \text{ m}} = 0,03197 \text{ m} = 31,97 \text{ mm} \approx 32 \text{ mm}.$$

Para el espesor de la placa se usará un espesor igual ya que debe resistir la misma magnitud de fuerza. El esquema de la placa perforada es mostrado en la figura 11.

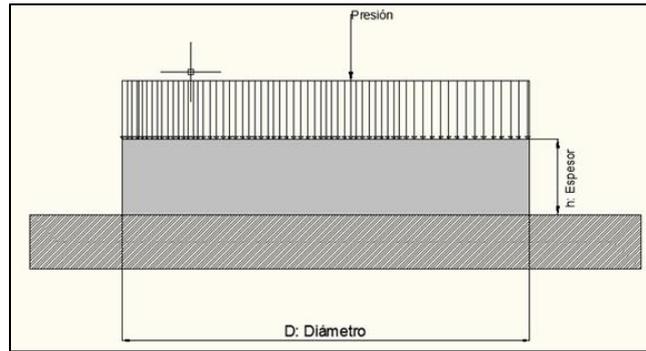


FIGURA 11: ESQUEMA DE LA BASE PERFORADA

Usando la ecuación (2.1) y despejando F, se obtiene:

$$F = P * A$$

Donde

F: fuerza sobre la placa

A: área circular transversal: $A = (\pi/4)*d^2$

P: Presión de prensado: 50MPa

Reemplazando los valores en la ecuación anterior se tiene:

$$50 \times 10^6 \text{ Pa} * \frac{\pi}{4} * (0,112 \text{ m})^2 = 492603 \text{ N}$$

Se observa que la magnitud de la fuerza ejercida sobre la placa perforada es igual a la ejercida sobre el pistón, por lo que el espesor de la base tiene el mismo valor del pistón.

El pistón y la base tienen agujeros de 3/32 in (2,38 mm) de diámetro, el pistón tiene 6 y la base 24 agujeros, esto permite fluir la manteca de cacao para poder ser recolectada. Además, la base tiene ranuras que conectan los agujeros para mejorar el flujo de la manteca, esto se observa en la figura 12:

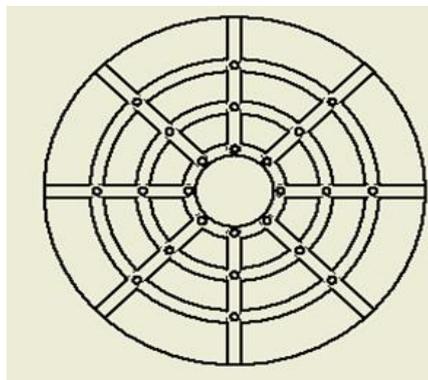


FIGURA 12: FORMA DE LA BASE PERFORADA

2.5.4. Criterios de Selección los componentes del Sistema oleo hidráulico.

En esta sección se detallan los criterios para la selección del sistema oleo hidráulico, que se encarga de suministrar la potencia mecánica para la extracción.

2.5.4.1. Criterios de selección del cilindro hidráulico.

El primer criterio de selección del cilindro está dado por la capacidad de carga nominal, la cual se determina por la fuerza necesaria para el prensado, que es igual a 492603 N.

Usando la ecuación (2.8) se obtiene la capacidad de carga en kg.

$$F = m * g \quad (2.8)$$

Donde:

F: fuerza requerida= 492603 N

g: Aceleración de la gravedad = 9,81m/s²

m: Capacidad del cilindro hidráulico en kg.

Despejando F, y reemplazando los valores en la Ecuación 2.8

$$\begin{aligned} &= \frac{492603N}{\frac{9,81Kg}{\frac{m}{s^2}}} = 50214,37 Kg \\ &= \frac{50214,37Kg}{907,2 kg} * 1Ton = 55,35 Ton \end{aligned}$$

Otro criterio de selección es el área efectiva del cilindro, esta área limita la presión de operación del circuito oleo hidráulico.

Los conjuntos motrices encontrados otorgan presiones de operación hasta 10000 psi, con esta presión se determina el área efectiva mínima para nuestra fuerza de 492603 N. Usando la ecuación 2.9 se determina el área efectiva mínima.

Usando la ecuación 2.9 tenemos:

$$P_w = \frac{F}{A_f} \quad (2.9)$$

Donde:

P_w: presión de trabajo de la bomba

F: fuerza requerida: 492603 N

A_f: área efectiva mínima del cilindro hidráulico.

Resolviendo tenemos:

$$A_f = \frac{492603N}{10000psi * \frac{N/m^2}{1,45 \times 10^{-4}psi}} = 0,007142m^2$$

$$= 71,42 cm^2 * \frac{pul^2}{6,452cm^2} = 11,06 in^2$$

Además la carrera de trabajo viene dada por la altura efectiva del vaso de extracción que es igual a 140 mm.

La tabla 12 muestra los dos cilindros de doble efecto existentes en el mercado.

**TABLA 12
CILINDROS HIDRÁULICOS ENCONTRADOS EN EL
MERCADO.**

Cyl. Cap . Stroke (tons) (in.)	Order No.	Oil Capacity (cu.in.)	Re- tracted Height (in.)	Ex- tended Height (in.)	Out- side Dia. (in.)	Collar Thread Size (in.)	E Thread (in.)	F trusion (in.)	G Port (in.)	H Piston Depth (in.)	J Rod Int. and (in.)	K Piston trusion (in.)	Load Cap (in.)	Bore Dia. (in.)	Cyl. Eff. Area (sq.in.)	Int. Press. at Cap.	
																Push	Pull
10 4 6 ³ / ₄	RD106	13.9 5.5	11 ¹¹ / ₁₆	17 ¹⁵ / ₁₆	3	2 ³ / ₄ 12	1 ⁵ / ₈	1	2 ¹ / ₂	1 ⁵ / ₁₆	1-8x1	1/4	1 ³ / ₈ 1 ¹¹ / ₁₆	2.23 0.88	8,943 9,055		
10 4 10	RD1010	22.3 8.8	15 ¹¹ / ₁₆	25 ¹¹ / ₁₆	3	2 ³ / ₄ 12	1 ⁵ / ₈	1	2 ¹ / ₂	1 ⁵ / ₁₆	1-8x1	1/4	1 ³ / ₈ 1 ¹¹ / ₁₆	2.23 0.88	8,943 9,055		
25 8 6 ³ / ₄	RD256	32.2 10.1	12 ⁵ / ₈	18 ⁵ / ₈	4	412	1 ⁵ / ₈	1	2 ¹ / ₂	2 ⁵ / ₈	1 ¹ / ₂ 16x1	3/8	2 ⁵ / ₈ 2 ⁵ / ₁₆	5.15 1.61	9,695 9,934		
25 8 14 ¹ / ₄	RD2514	73.5 22.9	20 ⁵ / ₈	34 ⁵ / ₈	4	412	1 ⁵ / ₈	1	2 ¹ / ₂	2 ⁵ / ₈	1 ¹ / ₂ 16x1	3/8	2 ⁵ / ₈ 2 ⁵ / ₁₆	5.15 1.61	9,695 9,934		
55 28 6 ³ / ₄	RD556	69.0 35.2	12 ²¹ / ₃₂	19 ⁷ / ₃₂	5	512	1 ⁵ / ₈	1 ⁵ / ₁₆	2 ¹ / ₂	2 ⁵ / ₈	1 ¹¹ / ₁₆ 8X1 ³ / ₁₆	5/8	2 ⁵ / ₈ 3 ³ / ₄	11.04 5.63	9,959 9,941		
55 28 13 ³ / ₈	RD5513	144.9 73.9	19 ²⁷ / ₃₂	32 ²¹ / ₃₂	5	512	1 ⁵ / ₈	1 ⁵ / ₁₆	2 ¹ / ₂	2 ⁵ / ₈	1 ¹¹ / ₁₆ 8X1 ³ / ₁₆	5/8	2 ⁵ / ₈ 3 ³ / ₄	11.04 5.63	9,959 9,941		
55 28 18 ⁵ / ₈	RD5518	200.0 102.0	25 ⁵ / ₈	44	5	512	1 ⁵ / ₈	1 ⁵ / ₁₆	2 ¹ / ₂	2 ⁵ / ₈	1 ¹¹ / ₁₆ 8X1 ³ / ₁₆	5/8	2 ⁵ / ₈ 3 ³ / ₄	11.04 5.63	9,959 9,941		
80 44 13 ³ / ₈	RD8013	208.6 115.9	20 ⁵ / ₈	33 ³ / ₂	5 ³ / ₄	5 ³ / ₄ 12	1 ⁵ / ₈	1 ¹ / ₂	2 ¹ / ₂	3	24 ¹ / ₂ 2x1 ¹ / ₂	9/16	2 ⁵ / ₈ 4 ¹ / ₂	15.90 8.84	10,060 9,954		
100 44 6 ³ / ₈	RD1006	136.7 58.5	13 ²⁵ / ₃₂	20 ¹³ / ₃₂	6 ¹ / ₈	6 ¹ / ₈ 12	1 ⁵ / ₈	1 ¹ / ₂	2 ¹ / ₂	3 ¹ / ₈	2 ³ / ₄ 12x1 ⁵ / ₃₂	5/8	3 ³ / ₈ 5 ¹ / ₈	20.63 8.84	9,695 9,959		
100 44 13 ³ / ₈	RD10013	270.7 116.0	20 ⁵ / ₃₂	33 ¹³ / ₃₂	6 ¹ / ₈	6 ¹ / ₈ 12	1 ⁵ / ₈	1 ¹ / ₂	2 ¹ / ₂	3 ¹ / ₈	2 ³ / ₄ 12x1 ⁵ / ₃₂	5/8	3 ³ / ₈ 5 ¹ / ₈	20.63 8.84	9,695 9,959		

Fuente: [10].

Estos cilindros resisten una presión máxima de trabajo de 10000 psi, a pesar que el cilindro de 55 toneladas se encuentra por debajo de nuestros requerimientos se lo selecciona como opción por su bajo costo.

2.5.4.2. Criterio de selección del conjunto de potencia hidráulica.

Existen en el mercado conjuntos de potencia para cilindros hidráulicos, los cuales cuentan con bomba, motor eléctrico, válvula de dirección, filtro interno de succión, depósito de aceite, y control de mando. Son de tamaño compacto y de alto rendimiento. La figura 13 muestra su forma característica, donde la bomba se encuentra sumergida en el depósito de aceite.



FIGURA 13: CONJUNTO DE POTENCIA HIDRÁULICO.

El primer criterio para seleccionar estos equipos, es el volumen necesario para mover el cilindro en toda su carrera, esto determinará cuanta cantidad de fluido hidráulico se necesita en el depósito.

Una expresión para este criterio viene dado por la siguiente ecuación.

$$V_r = f_w * V_c \quad (2.10)$$

Donde:

V_r : Volumen de aceite requerido.

f_w : Factor de trabajo: 1,2 trabajo intermitente (20 a 60 minutos de uso), 2 trabajo extendido (más de 60 minutos).

V_c : Volumen de aceite del cilindro en una carrera completa.

De la tabla 12 se observa que la capacidad de aceite máxima del cilindro ocurre en el avance, para los cilindros encontrados se determina la capacidad de aceite necesario en el reservorio.

Entonces usando un factor de trabajo extendido el volumen requerido es:

$$V_r (55 \text{ ton}) = 2 * 69 \text{ in}^3 = 2 * 1130 \text{ cm}^3 = 2260 \text{ cm}^3 * \frac{1 \text{ gal}}{3785 \text{ cm}^3} = 0,597 \text{ gal}$$

$$V_r (100 \text{ ton}) = 2 * 270,7 \text{ in}^3 = 2 * 4435,98 \text{ cm}^3 = 8871,96 \text{ cm}^3 * \frac{1 \text{ gal}}{3785 \text{ cm}^3} = 2,34 \text{ gal}$$

El segundo criterio de selección es el tiempo de operación a la máxima presión de trabajo de 10000 psi. Esta indica la velocidad de salida del vástago del cilindro, la cual está dada por la tabla 13, en donde los valores mostrados representan la cantidad de segundos que le toma al conjunto de potencia mover el cilindro dado una pulgada de carrera.

TABLA 13
TIEMPOS DE TRABAJO PARA CILINDROS HIDRÁULICOS

		10,000 psi Maximum Working Pressure														
		PRESSURE STAGE	CYLINDER CAPACITY (Tons)													
			5	10	15	20	25	30	55	75	100	150	200			
Hand Pumps*	46	P12‡	Single	14	32	44	65	72	93							
	46	P55‡	Single	6	14	19	28	31	40	71						
	47	P19/ P19L	Low	4	8	10	15	17	21							
			High	13	30	42	59	68	86							
	47	P59F	Low	1.8	4.1	5.7	8	9	12	20	29					
			High	8	17	24	34	48	50	85	122					
	47	P59(L)‡	Low	1.5	3.2	4.7	7	7.7	9.7	16.7	23.9					
			High	6	14	19	28	31	40	71	101					
	48	P159‡	Low	0.5	1	1.3	1.9	2.2	2.8	5	7	9	13	18		
			High	7	15	21	30	34	43	77	110	143	200	250		
48	P460‡	Low	0.1	0.3	0.6	0.6	0.7	0.9	1.5	2.2	2.8	4.2	5.6			
		High	3.3	7.7	9	14	17.5	22	37	55	71	105	143			
Electric/ Hydraulic Pumps†	68	PE10	Low	0.5	1.2	1.6	2.2	2.6	3.2	5.5						
			High	6	13.4	18.9	27	31	39	66.2						
	70	PE17‡	Low	0.2	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4	2.3	3.3	4.3	6.5	8.7		
			High	3.5	7.9	10.9	16	18	23	39	56.3	73	109	146		
	72-73	PE18	Low	0.4	0.8	1.2	1.6	1.8	2.3	3.9	5.7	7.3	10.8	14.6		
			High	3.3	7.5	10.3	15	17	21	37	53	69	102	136		
	74-75	PE21‡	Low	0.2	0.5	0.7	1.0	1.1	1.4	2.5	3.6	4.6	6.8	9.2		
			High	2.8	6.4	9	13	15	19	32	45.5	59	88	118		
	76-77	PED25	Low	0.2	0.4	0.6	0.9	1.0	1.3	2.2	3.2	4.1	6.1	8.3		
			High	2.4	5.4	7.5	10.6	12.4	15.6	26.5	38.2	49.5	73.6	99.1		
	78-79	PE30‡	Low	0.2	0.45	0.6	0.9	1	1.3	2.2	3.2	4.1	6			
			High	2	4.5	6	9	10	13	22	32	41	60			
	80-81	PE46‡	Low	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	1.3	1.8	2.4	3.5	4.7		
			High	1.3	2.9	4.1	5.9	6.8	8.6	14	22	28	42	56		
	82-83	PE55‡	Low	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.9	1.4	1.8	2.6	3.5		
	84-85	PE60‡	High	1.1	2.4	3.4	4.8	5.6	7.1	12	17.8	23	34	45		

Fuente: [10]

2.5.4.3. Selección del equipo de potencia hidráulico: para el proceso de selección del equipo de potencia hidráulico se tienen 2 configuraciones posibles. La tabla 14 muestra las configuraciones bomba-cilindro, y los valores de operación, junto con el costo de cada configuración en el mercado.

TABLA 14
CONFIGURACIONES BOMBA-CILINDRO EN EL MERCADO.

#	Configuración	Af (pulg ²)	Fuerza (N) @ 10000 psi	Presión de extracción (MPa)	Tiempo trabajo (s) @ 10000psi	Costo \$
1	Cilindro 556, Bomba PE17	11,04	491059,2	49,87	243,75	4536
2	Cilindro 10013, Bomba PE55	20,63	917622,4	93,19	301,875	11944,26

A pesar que la configuración 2 no alcanza la presión de extracción se justifica por el bajo costo del conjunto, además al tener un objetivo de mercado enfocado en los medianos productores de cacao es razonable mantener un bajo costo. Debido a esto se selecciona la configuración de 55 toneladas de capacidad.

Las características del cilindro se encuentran en el anexo 6. Y en el 7 los del conjunto bomba motor.

2.6. Diseño de la estructura base.

La parte más crítica de la estructura es seleccionar las vigas transversales y las columnas, el material designado para estos elementos es el acero ASTM A36, las propiedades del material se encuentran en el anexo 8.

2.6.1. Vigas transversales: son vigas que están sometidas a tensión por la fuerza ejercida por el cilindro hacia la estructura, además están soldadas en sus extremos.

La carga será de 489479,76 N aplicada en el centro de la viga. Esta carga es la fuerza del cilindro de 55 toneladas americanas, usando la ecuación (2.11) y con las fórmulas para una viga empotrada en sus extremos con una carga en el centro figura 14 se tiene:

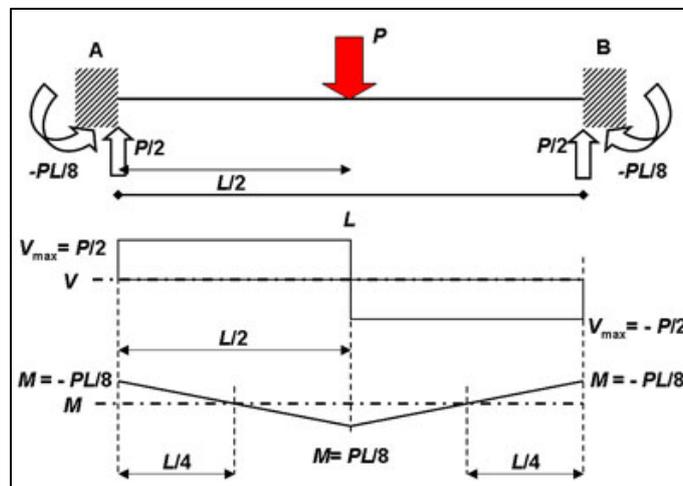


FIGURA 14: DIAGRAMA DE CARGA DE VIGA CON DOBLE EMPOTRAMIENTO

$$M = \frac{P \cdot L}{8} \quad (2.11)$$

Donde:

M= Momento flexión máximo

P= Carga aplicada en el centro de la viga: 489479,76 N

L= distancia entre los apoyos de la viga: 500mm

Reemplazando valores tenemos

$$M_{max} = \frac{489479,76 \text{ N} \cdot 0,5 \text{ m}}{8} = 30592,48 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Si el esfuerzo admisible por el material está dado por la ecuación (2.12) y el esfuerzo de carga por la ecuación (2.13)

$$\sigma a = \frac{Sy}{F.S} \quad (2.12)$$

$$\sigma c = \frac{Mmax}{Z} \quad (2.13)$$

Igualando las ecuaciones (2.12) y (2.13) y despejando Z se obtiene la ecuación (2.14).

$$\frac{Sy}{F.S} = \frac{Mmax}{Z} \quad (2.14)$$

Donde

Sy: límite de fluencia del acero ASTM A36: 250 MPa.

F.S: factor de seguridad=2,2

Z: módulo de Resistencia

Despejando Z y reemplazando valores tenemos:

$$Z = \frac{30592,48N.m * 2,2}{250 * 10^6 N/m^2} = 2,6921 * 10^{-4} m^3 = 269,21 cm^3$$

Se busca un perfil que tenga el módulo de resistencia mayor o igual que 270,6 cm³.

Se selecciona el Perfil HEB 200 por ser el perfil que cumple con las dimensiones para dar soporte al volumen del vaso de extracción, y además posee un módulo de resistencia de 570 cm³. Las características geométricas de este perfil se encuentran en el anexo 8.

2.6.2. Diseño de columnas

Para las columnas se selecciona el perfil HEB 200, los mismos usados para las vigas. Se usarán dos columnas de 1,6 metros de longitud. En el anexo 2 se encuentran las características del perfil HEB 200 constituido de acero A 36. Para calcular cual es la carga que puede soportar la columna sin pandearse primero debemos hallar la esbeltez dada por la ecuación (2.15):

$$SR = \frac{Le}{rmin} \quad (2.15)$$

Donde:

Le: longitud efectiva

r min: radio de giro mínimo: 5,07 cm

Ahora si la longitud efectiva viene dada por la ecuación (2.16)

$$Le = K * L \quad (2.16)$$

Donde:

K: factor de fijación de los extremos de la columna: 0,8

L: longitud real: 1,6 m

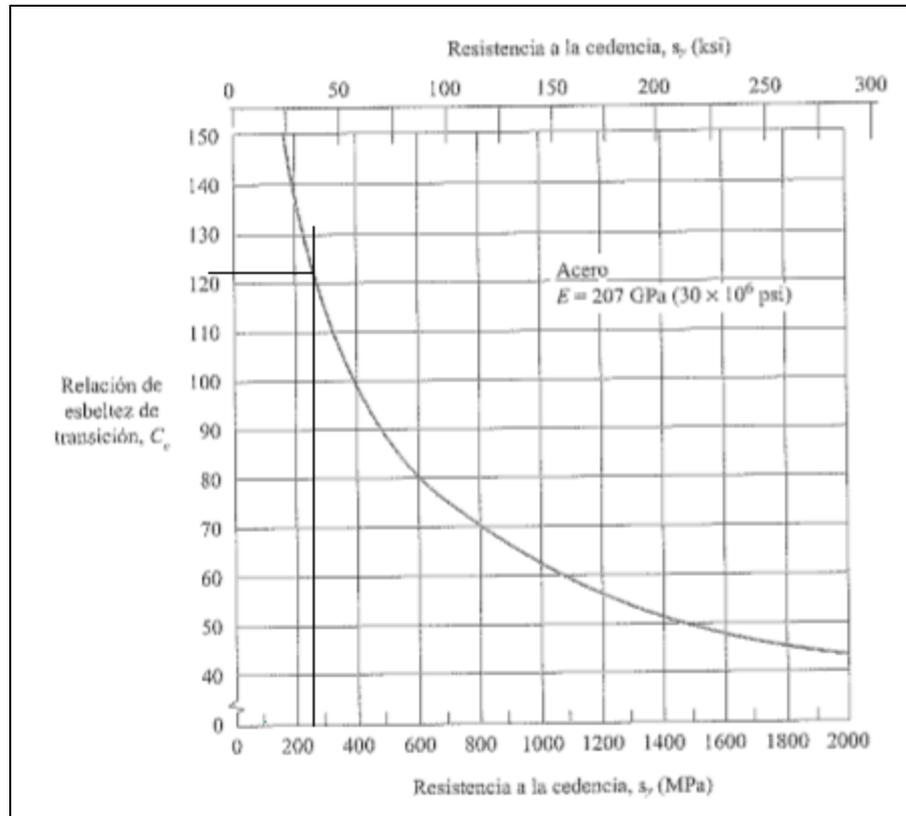
Resolviendo la ecuación 20 el valor de la longitud efectiva es:

$$Le = 0,8 * 1,6 m = 1,28 m$$

Y resolviendo también la ecuación 2.15 la relación de esbeltez es igual:

$$SR = \frac{1,28m}{0,0507m} = 25,24$$

Usando la figura 15, para acero A 36 con una resistencia de 250 MPa, se estima la relación de esbeltez de transición (Ce).



Fuente: [9]

FIGURA 15: GRAFICO CE VS RESISTENCIA A LA FLUENCIA DEL ACERO

Del gráfico se obtiene $C_e = 124$, entonces como $C_e > SR$ ($124 > 25,24$), la columna es corta y se usa la ecuación (2.17) para hallar la carga crítica

$$P_{cr} = A * S_y * \left(1 - \frac{S_y * (SR)^2}{4 * \pi^2 * E}\right) \quad (2.17)$$

Donde:

Pcr: Carga crítica

A: área transversal columna: $7,81 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

Sy: Resistencia a la fluencia A 36: 250 MPa

E: módulo Young del acero A 36: 207 GPa

SR: relación esbeltez

$$P_{cr} = (7,81 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * 250 \times 10^6 \text{ Pa}) * \left(1 - \frac{250 \times 10^6 \text{ Pa} * (25,24^2)}{4 * \pi^2 * 207 \times 10^9 \text{ Pa}} \right)$$
$$= 1914447,98 \text{ N}$$

Ahora el factor de seguridad para una columna se puede calcular con la ecuación (2.18):

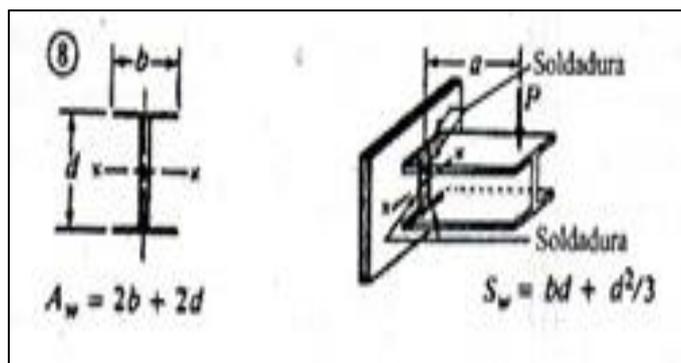
$$F.S = \frac{P_{cr}}{F} \quad (2.18)$$

$$F.S = \frac{1914447,98 \text{ N}}{492603 \text{ N}} = 3,886$$

Esto garantiza que las columnas de la estructura no fallaran por pandeo sometidas a la carga de 492603 N.

2.6.3. Diseño de la junta soldada

La soldadura que une las columnas con las vigas transversales debe garantizar una unión permanente. En la figura 16 se muestra la geometría de unión soldada, recomendada por Mott, y asumiendo la soldadura como una línea.



Fuente: [9]

FIGURA 16: GEOMETRÍA DE LA UNIÓN SOLDADA.

Para un perfil tipo HEB 200 y usando los valores de la figura 16 tenemos:

a: 0,5 m

b: 0,2 m

d: 0,2 m

Entonces A_w : 0,8m y S_w : 0,0533 m², y siendo la carga P igual a la mitad de la fuerza de diseño y con un modelo doblemente empotrado se tiene:

$$fb = \frac{P \cdot a}{S_w} \quad (2.19)$$

$$fb = \frac{246301,5N \cdot 0,25m}{0,0533m^2} = 1155260,319 \frac{N}{m} = 1155,26 \text{ kN/m}$$

Además, con la ecuación 2.20, siendo V la reacción en un extremo de la viga.

$$fs = \frac{V}{A_w} \quad (2.20)$$

$$fs = \frac{246301,5N}{0,8m} = 307,87 \text{ kN.}$$

Empleando la ecuación 2.21 se obtiene la fuerza resultante por longitud:

$$FR = \sqrt{fb^2 + fs^2} \quad (2.21)$$

$$FR = \sqrt{(1,429413,838 \text{ (kN)}^2/m^2} = 1195,58 \text{ kN/m}$$

Usando el código AISC para cortante se usa un esfuerzo admisible que no debe sobrepasar de 0,4x S_y del metal base, siendo este acero ASTM A36 se tiene:

$$\tau_a = 0,4 \cdot 250 \text{ MPa} = 100 \text{ MPa} \quad (2.22)$$

El espesor de la garganta está dado por la ecuación siguiente

$$t = \frac{FR}{\tau_a} \quad (2.23)$$

$$t = \frac{1195,58 \text{ kN/m}}{100 \times 10^6 \text{ N/m}^2} = 0,0119558 \text{ m} \approx 12 \text{ mm}$$

Además el ancho de pierna está dado por la ecuación 2.24:

$$w = \frac{t}{\cos 45^\circ} \quad (2.24)$$

$$w = \frac{12 \text{ mm}}{\cos 45^\circ} = 16,97 \text{ mm} \approx 17 \text{ mm}$$

La selección de otros componentes como pernos y sistema eléctrico de calentamiento se encuentran en la sección de anexos.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS.

3.1. Resultados de la simulación en Autodesk Inventor

En esta sección se muestran los resultados de la simulación de la estructura base y la cámara de extracción en el programa Autodesk Inventor.

3.1.1. Simulación de la estructura base.

La estructura fue diseñada bajo la acción de dos cargas de 55 toneladas colocadas sobre las vigas transversales, las cuales simulan la acción del cilindro hidráulico sobre la estructura, usando el criterio de diseño de Von Mises los esfuerzos máximo y mínimo son mostrados en la figura 16. Este esfuerzo de 206 MPa es mucho menor que el esfuerzo de fluencia del acero ASTM A36 de 250 MPa.

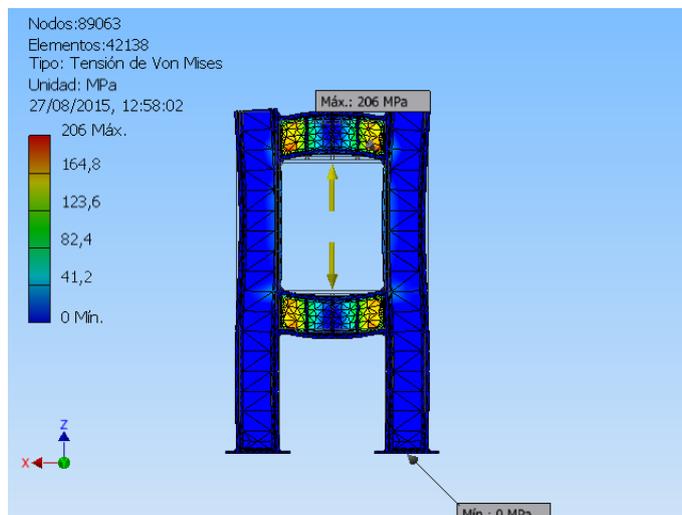


FIGURA 17: ESFUERZO MÁXIMO ENCONTRADO EN LA BASE ESTRUCTURA.

Otro factor importante es la deformación ocurrida en la estructura. La simulación muestra que la máxima deformación ocurre en la viga superior y tiene un valor de 0,5058 mm, este valor está dentro del rango aceptable dado por (MOTT, 2009) el cual es de 0,0005 a 0,003 mm/mm, esto es el valor de deflexión sobre el valor de la longitud del componente. Para el caso mostrado el valor es 0,5058/500mm, ya que la deflexión máxima ocurre en la viga superior y es igual a 0,0010116 mm/mm. La figura muestra el valor máximo de deflexión y su posición.

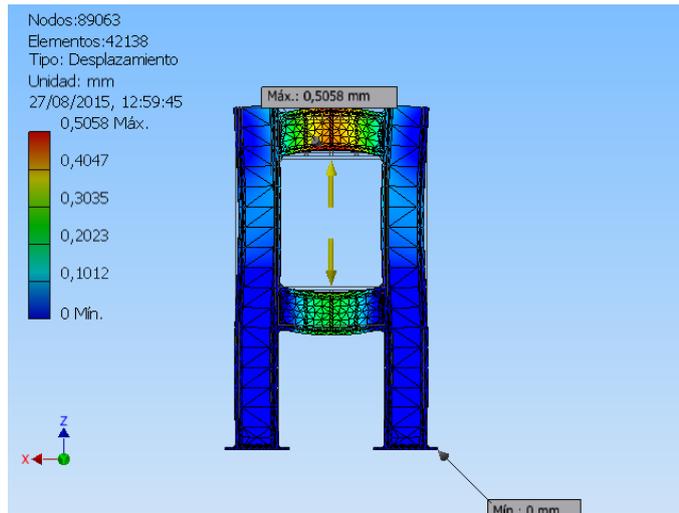


FIGURA 18: DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LA ESTRUCTURA BASE.

La figura 19 muestra la distribución del factor de seguridad en la estructura.

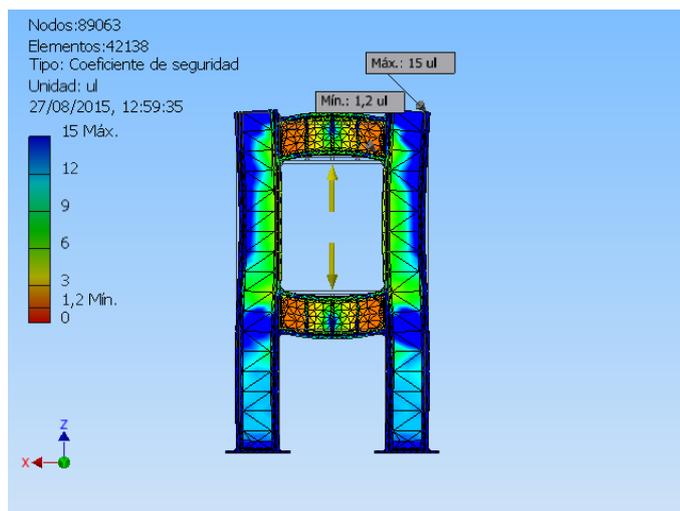


FIGURA 19: DISTRIBUCIÓN DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD

El mínimo valor del coeficiente de seguridad dentro de la estructura es de 1,2. Hay que tener en cuenta que el sistema hidráulico trabajará a una menor presión de trabajo lo que dará una fuerza de trabajo menor a 55 toneladas. En el Anexo 14 se muestra una tabla que relaciona la fuerza de trabajo con la presión de trabajo, se recomienda el uso de una válvula de alivio para no sobrepasar la máxima presión de trabajo en el sistema hidráulico (690 bares). Además, se recomienda una presión de operación de 670 bares que garantice una presión de extracción de 49 MPa.

3.1.2. Simulación de la cámara de extracción.

A continuación se presentan los resultados de la simulación de los componentes de la cámara de extracción.

3.1.2.1. Simulación del punzón de la cámara de extracción.

La simulación de carga estática de este componente se hizo colocando una carga en su cara superior, manteniendo fija la cara inferior. Un resumen de resultados se indica en la tabla 15.

**TABLA 15
RESUMEN SIMULACIÓN PUNZÓN.**

Material: Acero inoxidable 304	
Máxima tensión Von Mises (MPa)	122,5
Máxima deformación (mm)	0,04683
Coefficiente de seguridad mínimo	1,75
Masa (kg)	3,85
Carga: Fuerza axial (N)	492603

De estos resultados se observa que la fuerza ejercida sobre el elemento no sobrepasa el límite elástico del material. Las figuras 20, 21, 22 muestran estos resultados:

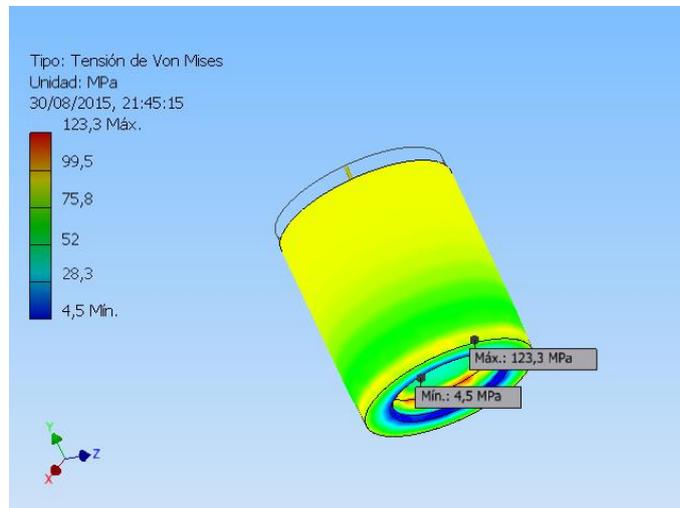


FIGURA 20: TENSIÓN DE VON MISES PUNZÓN.

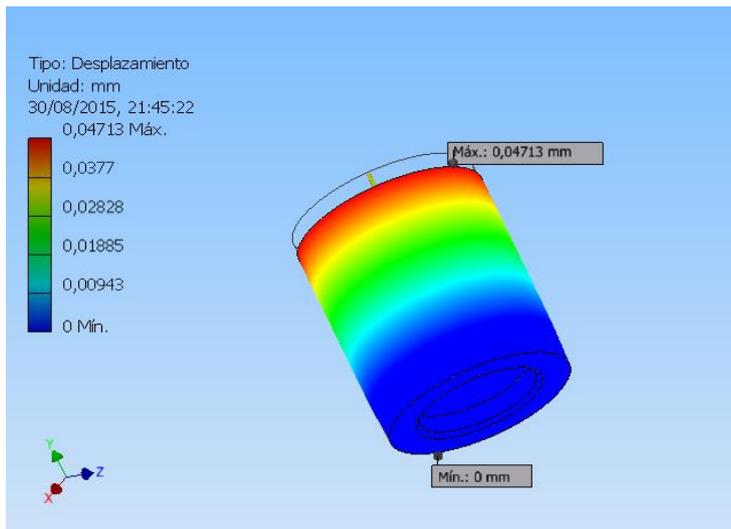


FIGURA 21: DEFORMACIÓN DEL PUNZÓN

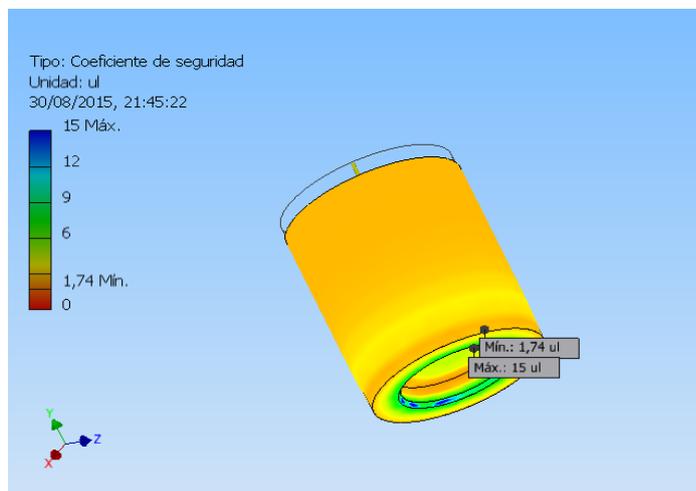


FIGURA 22: COEFICIENTE DE SEGURIDAD PUNZÓN.

3.1.2.2. Simulación del Cilindro de la cámara de extracción

El cilindro de la cámara de extracción debe soportar una presión interna de diseño igual a 50 MPa. Para la simulación se restringe el movimiento de su base, y el resumen de resultados se encuentra en la tabla siguiente.

**TABLA 16
RESULTADOS SIMULACIÓN CILINDRO DE EXTRACCIÓN.**

Material: Acero inoxidable 304	
Máxima tensión Von Mises (MPa)	152,8
Máxima deformación (mm)	0,03842
Coeficiente de seguridad mínimo	1,41
Masa (kg)	27,8
Carga: Presión interna (MPa)	50

A continuación en las figuras 23, 24 y 25, se muestran los resultados dados en la tabla 16.

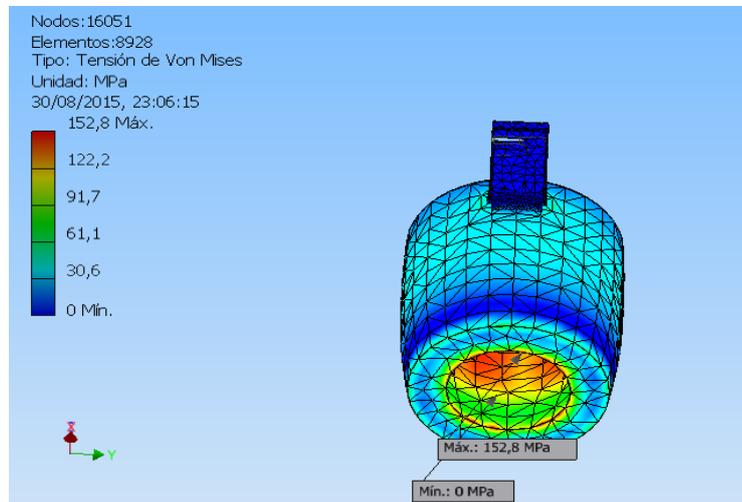


FIGURA 23: TENSIÓN VON MISES CILINDRO

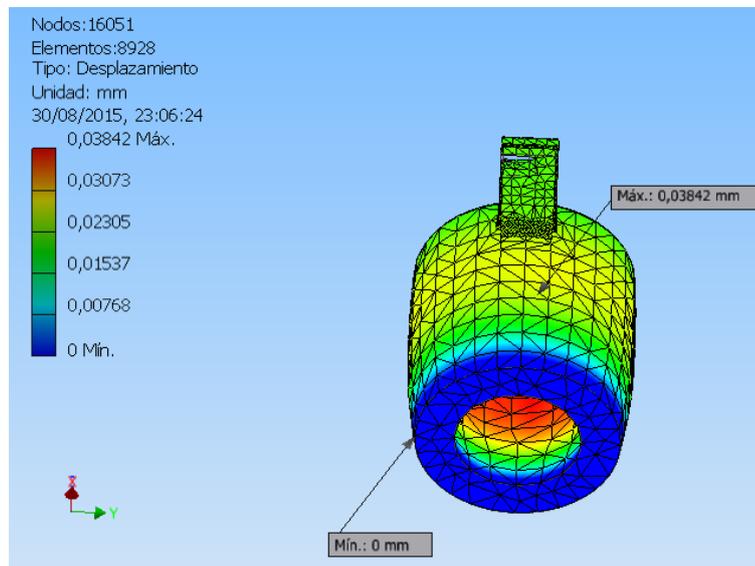


FIGURA 24: DEFORMACIÓN DEL CILINDRO

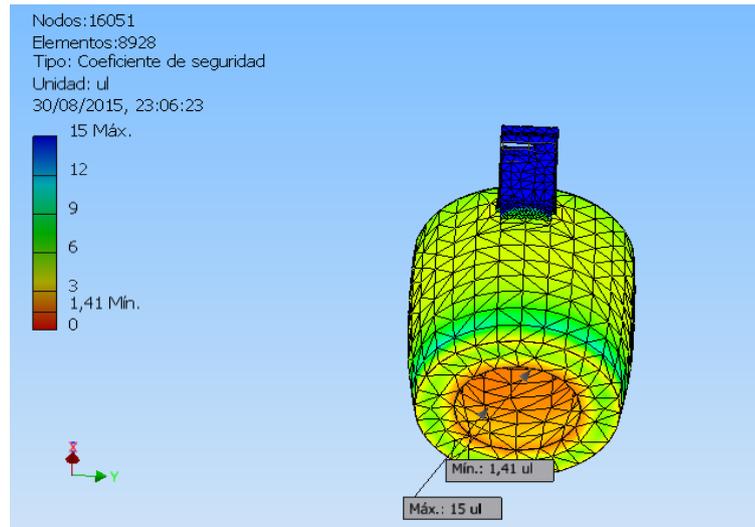


FIGURA 25: COEFICIENTE DE SEGURIDAD DEL CILINDRO.

3.1.2.3. Simulación Base Perforada.

La base perforada debe soportar una presión interna de 50 MPa sobre su cara superior, y debe restringirse su cara inferior. Al realizar la simulación se obtienen los siguientes resultados, mostrados en la tabla 17.

**TABLA 17
RESULTADOS SIMULACIÓN DE BASE PERFORADA**

Material: Acero inoxidable 304	
Máxima tensión Von Mises (MPa)	130,1
Máxima deformación (mm)	0,09255
Coeficiente de seguridad mínimo	1,65
Masa (kg)	2,42
Carga: Presión axial (MPa)	50

Las figuras 26, 27 y 28, muestran los resultados obtenidos en el programa con mayor detalle.

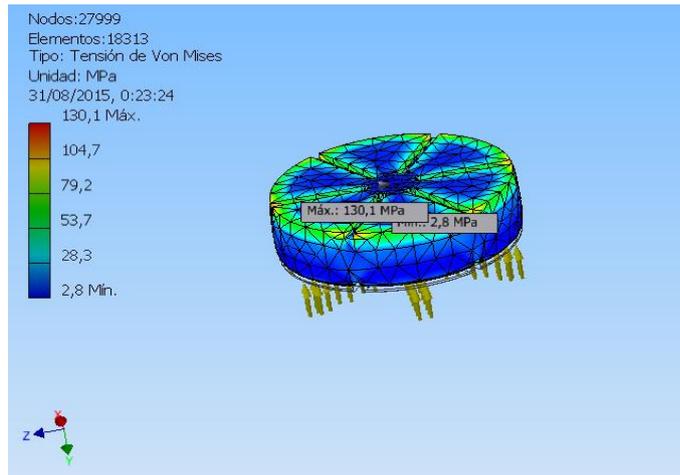


FIGURA 26: TENSIÓN VON MISES BASE PERFORADA.

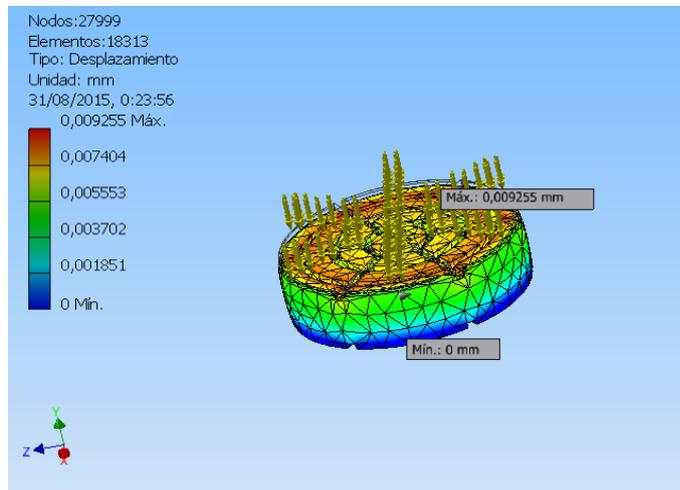


FIGURA 27: DEFORMACIÓN DE BASE PERFORADA

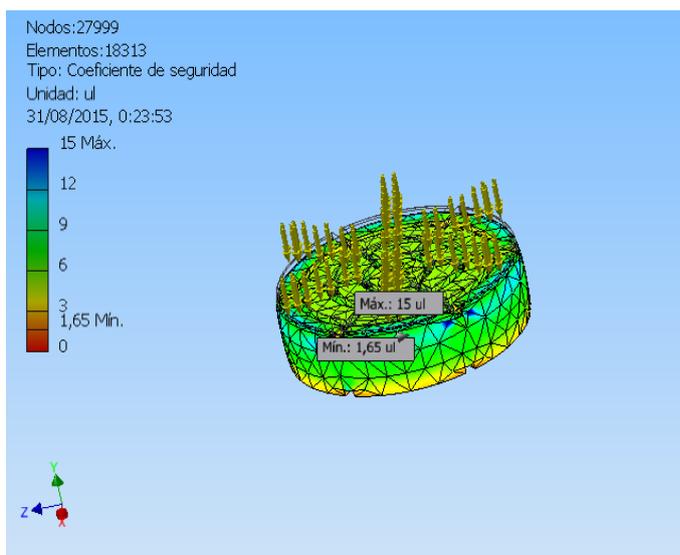


FIGURA 28: COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE BASE PERFORADA

3.1.2.4. Simulación de Pistón de la cámara de extracción.

Este elemento está sometido a una carga axial dada por el punzón e igual a 492603 N, sobre las caras adyacentes al punzón. Simulando el componente bajo compresión se obtiene los resultados dados en la figura 18.

**TABLA 18
RESULTADOS SIMULACIÓN PISTÓN.**

Material: Acero inoxidable 304	
Máxima Tensión Von Mises (MPa)	161,2
Máxima deformación (mm)	0,01538
Coefficiente de seguridad mínimo	1,33
Masa (kg)	2,7
Carga: Fuerza axial (N)	492603

A continuación se muestran los resultados de la simulación en las siguientes figuras.

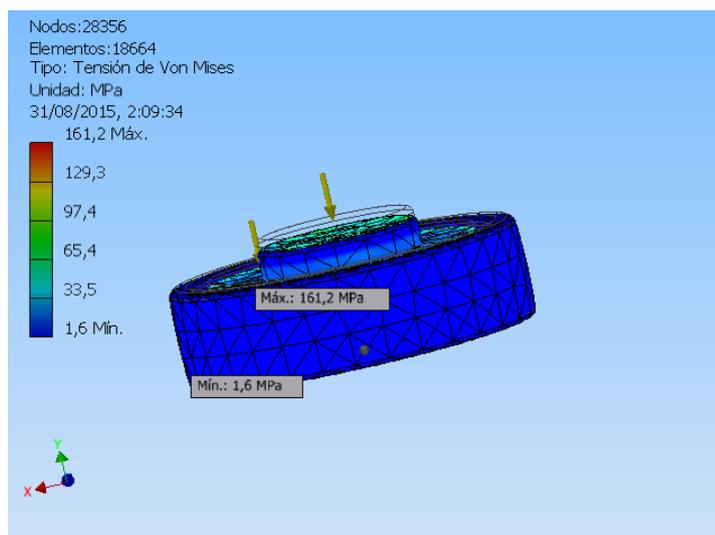


FIGURA 29: TENSIÓN VON MISES PISTÓN

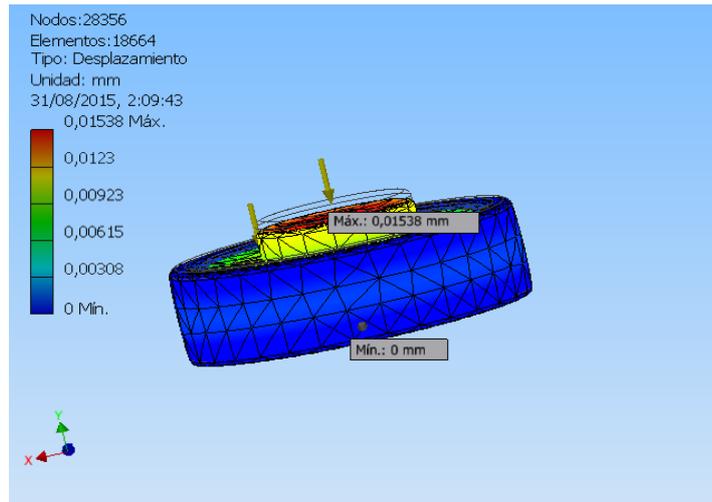


FIGURA 30: DEFORMACIÓN DEL PISTÓN

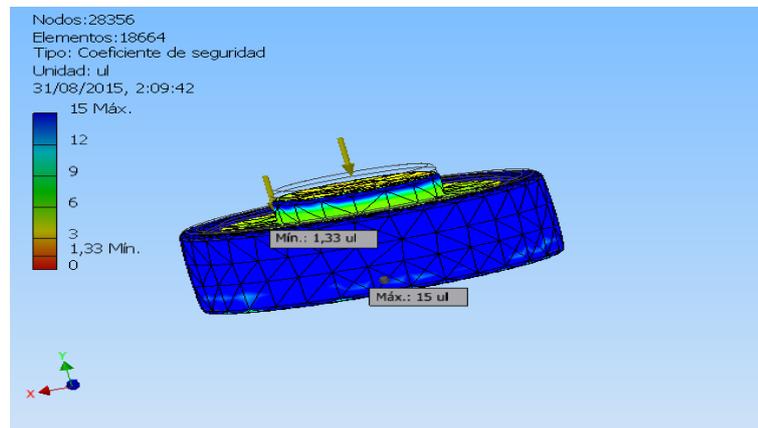


FIGURA 31: COEFICIENTE DE SEGURIDAD PISTÓN.

3.2. Comparación operativa del sistema manual vs el sistema oleo-hidráulico de extracción.

Una vez diseñado el sistema de extracción y conociendo las dimensiones del mismo podemos realizar un análisis de las capacidades entre el diseño propuesto versus el diseño original, el cual es una prensa manual.

Los parámetros a comparar entre el sistema primario y el propuesto son los mostrados en la tabla 19 presentada a continuación:

TABLA 19
COMPARATIVA ENTRE SISTEMA MANUAL Y SISTEMA REDISEÑADO DE EXTRACCIÓN.

Parámetros a comparar	Sistema manual de extracción	Unidad	Sistema rediseñado de extracción	Unidad
Material de fabricación de cámara de extracción	AISI 304	-	AISI 304	-
Base perforada	56	agujeros	24	agujeros
Malla Filtrante	200	mesh	200	mesh
Sistema de sellado	O ring	Unidad	Tela filtrante de poliéster	Unidad
Direccionamiento de la manteca de cacao extraída	Receptáculo de recolección	-	Bandeja de direccionamiento	-
Sistema de conservación de temperatura de extracción	1000	Watt	1000	Watt
Masa de licor de Cacao usado en extracción	1,0	kg	1,5	kg
Presión de Operación del Sistema de Extracción	60	MPa	49	MPa
Torta de cacao extraída	0,5	kg	0,9	kg
Manteca de cacao extraída	0,5	kg	0,6	kg
Tiempo de extracción	30	minutos	20	minutos
Capacidad de extracción de manteca de cacao	1	kg/hora	1,8	kg/hora
Sistema hidráulico de extracción	Manual	-	Automático	-
Sistema de control de parámetros de operación	Dispersos	-	Tablero de control	-
Estructura de la prensa	184,32	kg	294,57	kg
Sistemas de seguridad del equipo	-	-	Botón de paro de emergencia, válvula de alivio, sistema protección con malla,	-

Analizando la tabla 19, sobresale entre los parámetros más importantes que se disminuyó la cantidad de agujeros de la base perforada, lo cual aumenta la resistencia de este elemento. Se han colocado canales entre las perforaciones para dirigir la manteca extraída y se aumentó en un 50% la capacidad del vaso de extracción. Bombear aceite al cilindro ya no se realiza de manera manual, disminuyendo el tiempo de extracción. Se aumentó la capacidad por hora en un 80%, extrayendo una torta de cacao con el 20% de manteca se aumenta en un 170% la masa por hora extraída de este sub

producto. Se consideró en el rediseño elementos de seguridad tanto para el sistema eléctrico de control y fuerza, seguridades para el sistema hidráulico y seguridades físicas para el operador. Se detallarán en el anexo 12 uno por uno los parámetros comparados entre el sistema de extracción original y el sistema rediseñado.

3.3 Costos.

A continuación se muestran los costos del sistema de extracción propuesto, detallando los costos de cada subsistema.

**TABLA 20
COSTOS DE MATERIALES DE LA BASE ESTRUCTURA.**

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD).	Costo Total (USD).
Perfil estructural HEB 200 laminado en caliente en acero AISI A36.	kg.	294,57	\$ 1,20	\$ 353,48
Electrodo AWS 7018	kg.	8	\$ 4,91	\$ 53,27
Placa acero ASTM A36 t=1/2"	Kg.	20	\$ 1,20	\$24,00
Barra de acero ASTM A36 Ø1/2"	kg.	5	\$1,20	\$6,00
Malla electro soldada Ø 1/4" 750X550 mm	un	1	\$150	\$150
Perno hexagonal 5/8" - 11 UNC SAE 8	un	4	\$ 0,83	\$ 1,02
Perno de expansión Ø1/2" x 2 3/4"	un	8	\$ 1,15	\$ 4,60
			Subtotal	\$ 592,37
			IVA 12%	\$ 71,08
			TOTAL	\$ 663,45

TABLA 21
COSTOS MATERIALES CÁMARA DE EXTRACCIÓN.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD).	Costo Total (USD).
Barra cilíndrica de acero AISI 304 rolada en caliente Ø ext. 190, Ø int. 100 x 210 mm	kg.	30	\$ 3,85	\$ 115,50
Barra cilíndrica de acero AISI 304 rolada en caliente Ø ext. 120X200 mm	kg.	10	\$ 3,85	\$ 38,50
Plancha de acero AISI 304 laminada en caliente e = 40 mm	kg.	5	\$ 3,85	\$ 19,25
Platina de acero AISI 304 t=12 mm	kg.	2	\$3,85	7,70
Malla 200 mesh de acero AISI 304	m ²	1	\$ 24,87	\$ 24,87
Tela filtrante de Poliéster	m ²	45	\$ 8,44	\$ 379,80
Perno M4 X0,5 X 6 mm	un	1	\$ 0,60	\$ 0,60
Electrodo AWS E308	kg.	0,64	\$ 15,71	\$ 10,05
			Subtotal	\$ 596,27
			IVA 12%	\$ 71,55
			TOTAL	\$ 667,82

TABLA 22
COSTO MATERIALES DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD).	Costo Total (USD).
Breaker 15 Amp. Bi fásico	un	1	\$ 4,16	\$ 4,16
Contactador LCD 9 Amp. Bobina 110V	un	1	\$ 22,36	\$ 22,36
Relé térmico con regulación 4,5 - 9 Amp	un	1	\$ 42,77	\$ 42,77
Luz Piloto 110 V (Roja, Verde, Naranja, Azul)	un	4	\$ 15,54	\$ 62,14
Disyuntor termo magnético 1 Amp. Unipolar	un	1	\$ 8,91	\$ 8,91
Pulsador de Emergencia con bloque de contacto NA-NC	un	1	\$ 19,70	\$ 19,70
Selector dos posiciones con contacto NA	un	2	\$ 11,51	\$ 23,01
Controlador digital de temperatura con display	un	1	\$ 180,00	\$ 180,00
Termocupla TRTD de 0-200 °C	un	1	\$ 72,00	\$ 72,00
Abrazadera térmica de 1000 W - 120 V	un	1	\$ 215,00	\$ 215,00
Pulsador verde contacto NA	un	1	\$ 8,26	\$ 8,26
Pulsador rojo contacto NC	un	1	\$ 8,26	\$ 8,26
Relé encapsulado simple polo doble tiro (SPDT)	un	2	\$ 10,47	\$ 20,93
Bomba de diafragma 200 Watt	un	1	\$ 215	\$ 215
Cable unifilar # 12	m	12	\$ 0,46	\$ 5,54
Cable Unifilar# 16	m	8	\$ 0,20	\$ 1,64
Tablero eléctrico 40 X 40 cm	un	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Borneras	un	20	\$ 0,88	\$ 17,68
Marquilla	un	70	\$ 0,20	\$ 14,00
Terminal tipo uña para cable #12	paquete	1	\$ 8,78	\$ 8,78
Terminal tipo Pin para cable # 16	paquete	1	\$ 6,50	\$ 6,50
Tubería Flexible de 1/2"	m	10	\$ 2,05	\$ 20,48
Conector para tubería flexible recto de 1/2"	un	8	\$ 0,83	\$ 6,67
Conector de 1/2" 90° para tubería flexible	un	2	\$ 1,04	\$ 2,08
			Subtotal	\$ 1.025,87
			IVA 12%	\$ 123,10
			TOTAL	\$ 1.148,97

**TABLA 23
COSTO MATERIALES DEL SISTEMA HIDRÁULICO.**

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD).	Costo Total (USD).
Adaptador manómetro 1/4 x 3/8	un	1	57,365	\$ 57,37
Bomba hidráulica de acción doble y válvula 4 vías 3 posiciones normalmente cerrada, tanque de 2 galones, motor eléctrico 1/2 HP 115 V monofásico, mandos a control remoto (10 pies), manómetro y válvula de alivio.	un	1	\$ 2.447,55	\$ 2.447,55
Cilindro hidráulico doble efecto 55 ton X 6"1/4 POWER TEAM	un	1	\$ 2.088,45	\$ 2.088,45
Manguera hidráulica 8 pies/1,4m 10000psi	un	2	\$ 131,36	\$ 262,71
Manómetro de carátula 2,5" 0 - 20000 1/4 NPT	un	1	\$ 93,46	\$ 93,46
			Subtotal	\$ 4.949,54
			IVA 12%	\$ 593,94
			TOTAL	\$ 5.543,48

**TABLA 24
COSTO DE MANO DE OBRA**

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD).	Costo Total (USD).
Construcción de Estructura, Cámara de Extracción, Tablero de Control, Instalación de Sistema hidráulico	un	1	\$ 750,84	\$ 750,84
Costo de Diseño	un	1	\$ 1.501,69	\$ 1.501,69
			Subtotal	\$ 2.252,53
			IVA 12%	\$ 270,30
			TOTAL	\$ 2.522,83

**TABLA 25
RESUMEN DE COSTOS DEL PROYECTO.**

Descripción	Valor
Costo total Materiales	\$8.023,72
Costo total Mano de Obra	\$2.522,83
Costo total del Proyecto	\$ 10.546,55

3.4. Análisis costo beneficio

De acuerdo a los costos obtenidos anteriormente se realizó una comparación entre los costos del diseño original y el propuesto en este trabajo.

**TABLA 26
COMPARACIÓN COSTOS SISTEMAS MANUAL VS REDISEÑO PROPUESTO**

Parámetros a comparar	Sistema Manual	Rediseño Propuesto
Estructura	\$ 351,37	\$ 663,45
Cámara de extracción	\$ 441,16	\$ 667,82
Sistema eléctrico	\$ 695,95	\$ 1.148,97
Sistema hidráulico	\$ 3.203,20	\$ 5.543,48
Mano de obra.	\$ 2.155,00	\$ 2.522,83
TOTAL	\$ 6.846,68	\$ 10.546,55

En la tabla 26 se observa un incremento de \$ 3.699,87 en el costo del equipo, correspondiente al 35% del costo del sistema rediseñado o 54% del sistema manual, esto se debe a los nuevos componentes del sistema.

Ya que este proyecto va dirigido a pequeños o medianos productores, se estima una producción anual de 6 toneladas por hectárea. Se pudo hacer un análisis en cuanto al beneficio que tendría un productor de cacao si es que deseara complementar su producción con el procesamiento de licor, torta y manteca de cacao provenientes de su materia prima.

A continuación en la tabla 27 presenta el aumento estimado de ingresos para el productor.

TABLA 27
AUMENTO DE INGRESOS ESTIMADO.

Producto	Precio Mercado (\$/ton)	Producción Anual Agricultor (ton/Ha)	Utilidad (\$)
Cacao Grano	\$ 2.861,65	6	\$ 17.169,90
Torta	\$ 2.579,09	2,88	\$ 7.427,78
Manteca	\$ 6.606,06	1,92	\$ 12.683,64

*6 ton de grano se convierten 4,8 ton de licor, el 40% de grasa de este licor es 1,92 ton

De la tabla 27 se observa, una utilidad de \$ 20111,42 produciendo manteca y torta de cacao. Podemos observar que hay un incremento de \$4486,26 en la utilidad lo cual corresponde a una ganancia resultante de un 26,12% del precio de venta del cacao crudo en grano,

En la ecuación 3.1 podemos analizar la capacidad de producción del sistema rediseñado si se trabaja: 52 semanas al año, 5 días por semana, 8 horas por día y 3 ciclos por hora de 1,5 kg por ciclo. Obteniendo 9.360,00 kg para procesar por año, lo cual representa 1,56 hectáreas al año posibles para procesar.

$$1,5 \frac{kg}{ciclo} \times 3 \frac{ciclo}{hora} \times 8 \frac{horas}{día} \times 260 \frac{días}{año} = 9.360,00 \frac{kg}{año} \quad (3.1)$$

Un análisis de los costos operativos de producción de manteca de cacao se podrá encontrar en el anexo 13. El costo de operación es de \$730 al mes pero se puede conseguir una ganancia de \$3268,11 mensuales, y descontando los gastos invertidos se tendría una utilidad neta de \$2538,11.

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

4.1. Conclusiones

- Este proyecto brinda una alternativa a pequeños y medianos productores para incrementar sus utilidades, por medio de la producción de derivados de cacao usando tecnología nacional, y dando valor agregado a la materia prima ya existente.
- El rediseño de la cámara de extracción incrementará en un 80% la producción de manteca de cacao por hora, y también aumentaría en un 170% la extracción de torta de cacao, en comparación con el diseño original.
- Con una presión de 50 MPa se obtuvo una torta con el 20% de grasa con relación a su masa extraíble lo cual nos ayuda a tener un sub producto más atractivo en el mercado.
- Se disminuyó en un 33% el tiempo de extracción debido a las consideraciones de presión de extracción necesaria para obtener una torta con un porcentaje de grasa atractivo para el mercado.
- Se incrementó el rendimiento anual de la máquina trabajando 8 horas al día durante 5 días a la semana por 52 semanas al año en 5,2 toneladas por año, es decir un 125% más de rendimiento por año en comparación con el equipo de extracción original.
- Al agregar elementos de sujeción laterales se facilita el manejo de los elementos de extracción y permite una remoción segura de la cámara de extracción luego del proceso.
- Al usar un sistema semiautomático se permite al operador del equipo realizar el trabajo de extracción con un mínimo desgaste físico.
- El operador puede verificar que los parámetros de temperatura y presión de operación estén en los rangos de trabajo desde el tablero de control.
- Se consideró seguridades tanto en el sistema hidráulico con la colocación de una válvula de alivio configurada en un rango $\pm 10\%$ a la presión de operación. Así como en el sistema eléctrico con la inclusión de breakers de fuerza y control, protección térmica para evitar daños en el motor, pulsador de paro de emergencia, y seguridad física para el operador por medio de una jaula de contención, como medida preventiva en caso de un des alineamiento de los elementos de extracción que pudieran llegar a salpicar al operador del equipo.

- El transformar cacao crudo en sub productos como la torta y manteca de cacao incrementa en un 26,12% la utilidad neta del productor, este valor considera los gastos de operación que genera el equipo.
- Los cálculos de diseño fueron corroborados mediante el modelado con el software AUTODESK® INVENTOR®, el cual arrojó resultados positivos corroborando que al trabajar con la presión de diseño ningún componente falla por el criterio de fluencia, y nos da un factor de seguridad por arriba del 120%.
- La implementación de una tela filtrante como sello entre el vaso de extracción y el pistón deslizante permite un fácil armado y desmonte de los elementos, además de cumplir su objetivo de sellar el medio de extracción permitiendo no tener fugas de licor ni pérdidas de presión.
- La robustez de la cámara de extracción versus la masa de licor a procesar disminuye en un 53%.

4.2 Recomendaciones.

- Se debe considerar la finura del licor de cacao a utilizar lo cual depende de los mecanismos de molido que se apliquen en el licor.
- La temperatura del licor al ingresar a la cámara de extracción debe ser la adecuada (entre 95 a 105 °C) ya que la cámara de extracción no está diseñada para calentar el licor a la temperatura de extracción sino únicamente mantenerla.
- Se debe considerar métodos de empaclado y almacenado para los derivados de cacao obtenidos.
- Debido a que el costo más representativo de operación de la máquina es el del operador del equipo, se podría implementar un sistema de varios vasos de extracción lo cual sería viable al emplear la misma bomba, cuyo costo es el más significativo del equipo. Esto incrementaría la capacidad de producción entre 2 y 4 veces más, siendo manejado por un mismo operador.
- Para realizar una mejor operación de la máquina y disminuir tiempos muertos por desacople del vaso de extracción se podría tener dos vasos de extracción el cual tiene un costo del 4% del valor total del equipo, sin ser representativo en comparación con el tiempo ganado para realizar el mayor número de extracciones por hora.
- Los filtros de poliéster se deben cambiar cada 3 ciclos de extracción, el no reemplazarlos podría causar que no se obtenga las cantidades de manteca de cacao para lo cual fue diseñado el equipo.

BIBLIOGRAFÍA

1. BECKETT, S. T. (2009). "*Industrial Chocolate Manufacture and Use.*" Blackwell Publishing Ltd.
2. BETANCOURTH S, J. V. (1989). "*Criterios de Selección y Optimización del tamaño de esferas de Acero para molienda de pasta de Cacao.* Guayaquil-Ecuador: E.S.P.O.L.
3. CACAOCUCINA. (12 de Junio de 2015). *Cacaocucina web site.* Obtenido de <http://cacaocucina.com/>
4. COCOA & CHOCOLATE. (20 de 07 de 2015). *Cocoa & chocolate on line.* Obtenido de <http://www.cacaochocolate.nl/main.php?p=inhoud&h=3&g=1&s=3&z=0>
5. DELANI GROUP. (7 de Junio de 2015). *Delani Group.* Obtenido de <http://www.delani.biz/index.php>
6. MINIFIE, B. W. (1989). *Chocolate, Cocoa and Confectionary Science and Technology.* New york: Aspen Publishers.
7. MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR ECUADOR. (29 de Mayo de 2015). *Ministerio comercio exterior.* Obtenido de <http://www.comercioexterior.gob.ec/>
8. MORALES L, F. (2010). *Diseño, Construcción y Evaluación de un prototipo para desengrasar cacao a una escala pequeña.* Tabasco, Mexico.
9. MOTT, R. L. (2009). *Resistencia de Materiales 5 Edición.* México: Pearson Educación.
10. POWERTEAM. (12 de Agosto de 2014). *Powerteam hydraulics solutions.* Obtenido de <http://www.spx.com/en/power-team/>
11. SALAZAR, J. C. (2015). *Diseño de banco experimental de prensado óleo hidráulico para la extracción de manteca a partir del licor de cacao.* Guayaquil: E.S.P.O.L.
12. SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (10 de Junio de 2015). *INEN.* Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec/>
13. YANES, M. (1994). *El Cacao: Origen , cultivo e industrialización en Tabasco.* Villahermosa, México.

ANEXO 1

Análisis del banco experimental manual para extracción de manteca de cacao.

1. Análisis de componentes de una prensa manual para la obtención de manteca de cacao

Se realizara un análisis de los diferentes componentes de una prensa manual oleo hidráulica diseñada previamente, sus componentes son:

- Cámara de extracción de manteca de cacao.
- Base estructura de la prensa.
- Sistema oleo hidráulico.

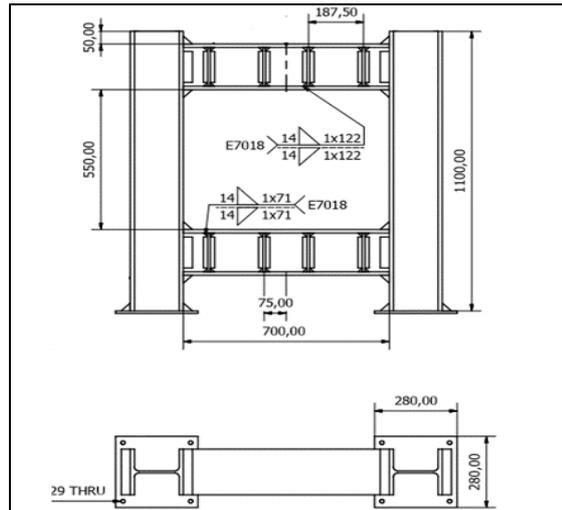
1.1. Análisis de la estructura base del banco experimental.

Se conforma de perfiles tipo HEB 180 soldados por medio de electrodo revestido, el material es acero ASTM A-36.

Se dimensiona para resistir una fuerza de 48 Ton, la cual es necesaria para prensar hasta 60 MPa como máximo, dentro de la cámara de extracción. A continuación se muestran las dimensiones y peso de la estructura:

Dimensiones de estructura base del sistema de extracción manual.

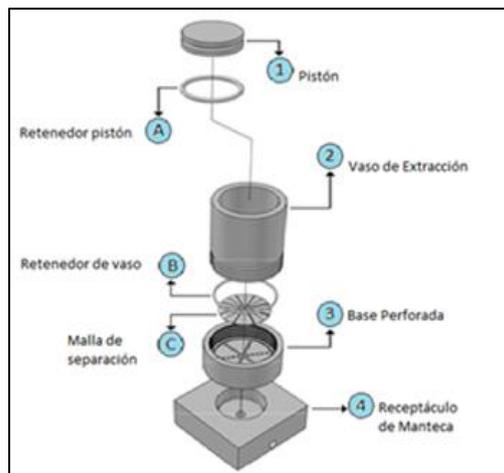
	Unidad	Cantidad
Largo (L)	mm	280
Ancho (W)	mm	1060
Alto (H)	mm	1100
Peso	kg	184,32



Forma de la Estructura Base del sistema de extracción manual.
Fuente: 11

1.2. Análisis de la cámara de extracción de manteca de cacao.

Las partes más críticas de la cámara de extracción son: Pistón, Vaso de Extracción, y Base Perforada. Estas partes son maquinadas en Acero Inoxidable AISI 304, cuyo parámetro de diseño es soportar una presión de 600 Bares. La siguiente figura presenta los componentes de la cámara.

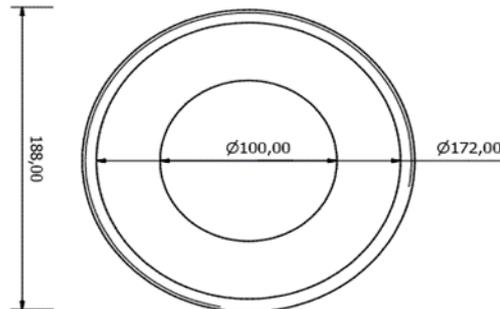


Componentes de la cámara de Extracción del sistema manual.

Pistón: El valor del diámetro del pistón es tomado por parte del diseñador este es de 100 mm. Este diámetro condiciona la capacidad del sistema oleo hidráulico, a mayor diámetro mayor capacidad del cilindro oleo hidráulico, para obtener una presión dada en este caso 600 bares.

Las dimensiones de la altura del pistón están diseñadas de acuerdo a la teoría del esfuerzo cortante máximo. El pistón tiene un espacio para colocársele un retenedor de teflón para el proceso de prensado.

Vaso de Extracción: El vaso de extracción es diseñado como un cilindro de pared gruesa para poder resistir una presión de 60 MPa, y sus dimensiones son:



Dimensiones del vaso de Extracción del sistema manual.

Fuente: [11]

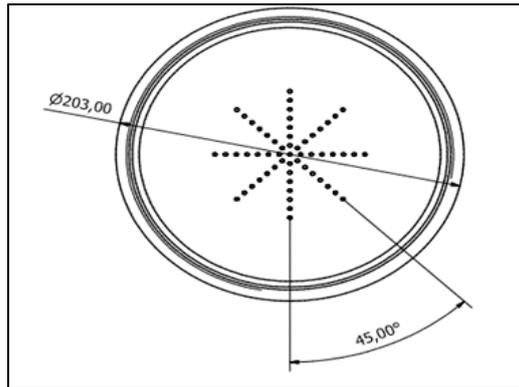
Su diámetro interno nominal es de 100 mm, aunque su altura se determina por el volumen de licor de cacao a contener, esta es de 127,3 mm permitiendo alojar 1kg de pasta o licor de cacao para el proceso de prensado. Posee también una rosca M190x3 para poder mantener el vaso junto a la base perforada. El ajuste del vaso de extracción es H8 con respecto al pistón

Base Perforada: Esta base es donde se separa la manteca de la torta de cacao, por medio de 57 agujeros de 5/54 pulgadas de diámetro, el espesor de esta es diseñado para soportar un esfuerzo producido por una presión de 60 MPa, usando un factor de seguridad de 2, el valor es de 41 mm.

La base posee una rosca para poder ser unida al vaso, de las mismas características de la maquinada en la base del vaso de extracción.

La siguiente figura muestra la forma de la base perforada, se puede observar la forma y distribución de los agujeros en la base.

Sobre esta base se coloca un kit de mallas de 20, 30 y de 200 mesh para poder garantizar el proceso de filtrado.



Forma de la Placa Perforada del sistema de extracción

Fuente: [11]

1.3. Análisis del sistema hidráulico del banco experimental.

El sistema manual diseñado anteriormente hizo una selección de equipos para esta sección, entre los cuales se denotan:

Cilindro: de simple efecto, de 50 Toneladas de capacidad, una carrera máxima de 6,25 pulgadas, acoples de mangueras diseñados para rápido montaje y además posee una válvula de seguridad en casos de sobre presión.

Bomba manual: bomba manual con reservorio de aceite incluido, resistencia de 10000 psi, tiene una válvula de alivio.

Mangueras: de material termoplástico, resistencia de hasta 10000 psi, con acople rápido para el cilindro.

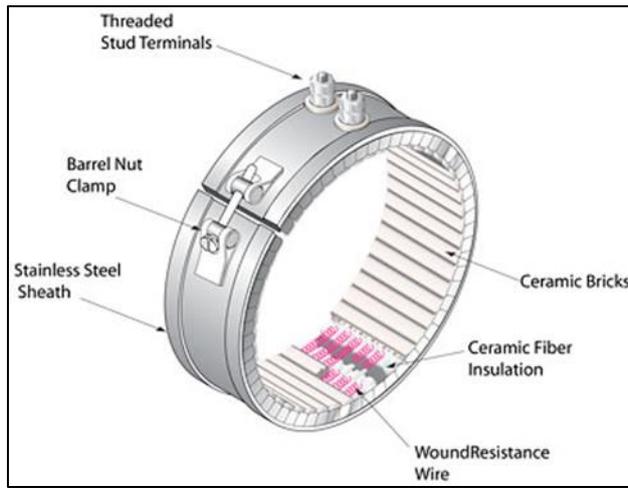
Manómetro: debe tener acoples de rápidos y en concordancia con los demás accesorios, ser de glicerina y tener una escala de al menos 10000 psi.

1.4. Análisis del sistema eléctrico.

El sistema eléctrico está constituido para funcionar con una fuente de energía de 120 voltios AC. Una resistencia variable de 1000 watos, esto para controlar la intensidad de la corriente, y controlar la potencia requerida.

Los componentes más cruciales de este circuito son:

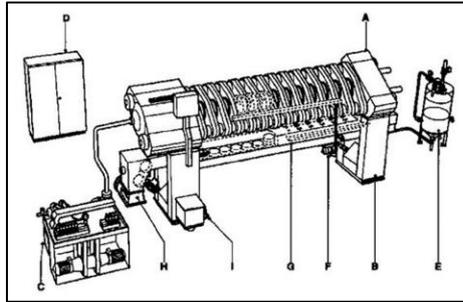
Faja térmica: la cual será la responsable de calentar el vaso de extracción para mantener la temperatura del proceso de prensado en este caso, 110 °C, dentro del vaso, y tiene una potencia de 1000 Watos.



ANEXO 2

Tiempo de prensado del licor de cacao en una prensa horizontal.

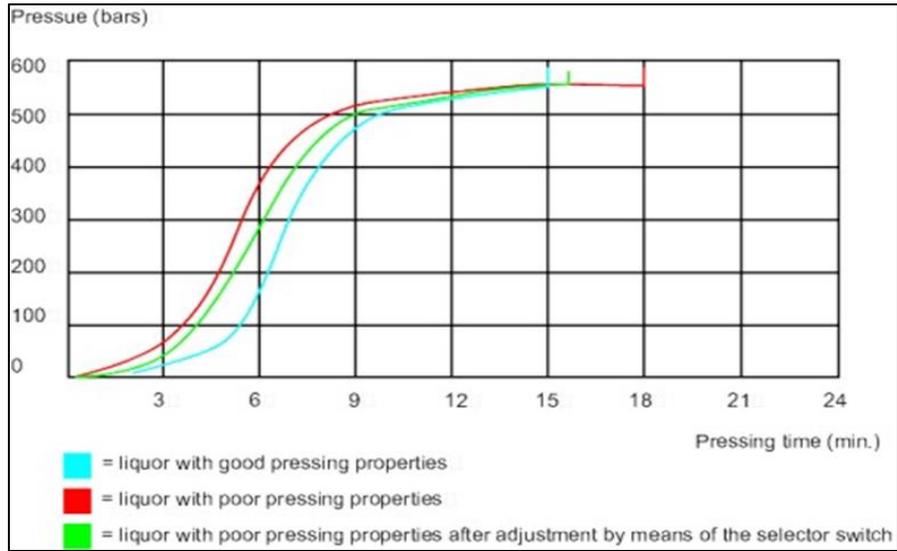
La siguiente imagen es una prensa horizontal de extracción de manteca de cacao a partir del licor de cacao



Estas prensas funcionan a presiones superiores de los 500 Bares y procesan entre 165 y 220 Kg de Licor de cacao, todo para obtener tortas de cacao con porcentajes de grasa entre el 10 y el 12%.

Según (COCOA & CHOCOLATE, 2015) “A medida que la presión aumenta el contenido de grasa residual del producto disminuye. A 100-150 bares el licor se compacta en tortas duras, mientras que alrededor de 350 bares el contenido de grasa residual de la torta empieza a reducirse. Para obtener un porcentaje de aproximadamente 10-12%, la presión debe incrementarse a más de 500 bar y mantenerse durante unos diez minutos. Bajo estas condiciones de tres a cuatro ciclos de prensado por hora son posibles”.

A continuación se muestra un gráfico que relaciona la presión de extracción con el tiempo necesario para el proceso de extracción para este tipo de prensas.



Fuente: [4]

De este gráfico se concluye que para este tipo de prensas horizontales que funcionan a una presión de 540 bares el tiempo necesario para prensar licor de cacao es de 18 minutos dependiendo de la calidad del licor de cacao a usarse como materia prima.

ANEXO 3

Malla filtrante de acero inoxidable AISI 304.



TWP INC 2831 Tenth St. Berkeley, CA 94710 USA
 phone: 510-548-4434 / 800-227-1570 | fax: 510-548-3073 | website: www.twpinc.com

200 Mesh T304 Stainless .0021 48" Wide



© twpinc.com 2014

Name	200 Mesh T304 Stainless .0021 48" Wide
Part Number	200X200S0021W48T
Material	Stainless Steel T304

Mesh	200 x 200 per inch (per 2.54 cm)	Wire Diameter	0.0021 inches 0.0533 mm
Opening Size	0.0029 inches 0.07 mm	Opening Area Percentage	33.6%
Overall Thickness	0.0042 inches 0.10668 mm	Weight	0.06 lb/sq foot 0.29 kg/sq meter
Full Roll Length	100 feet / 30.49 meters	Standard Widths	48 inches
Weave Type	PSW	Surface Finish Coating	Mill Finish
Purchasing UOM	Square Foot, Full Roll	Link to Product Page	Click here
Typical Uses	Filtering and laboratories		
Comments	Bends easily by hand and cuts with scissors		

ANEXO 4 Propiedades del acero inoxidable AISI 304.

IVAN BOHMAN C.A. maneja las siguientes calidades de acero inoxidable:

COMPOSICIÓN QUÍMICA

AISI	% C	% Si	% Mn	% P Max.	% S	% Cr	% Ni	% Mo
304	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.015	18.0-20.0	8.0-10.5	--
316 L	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.015	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0
430	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.040	≤ 0.015	16.0-18.0	--	--

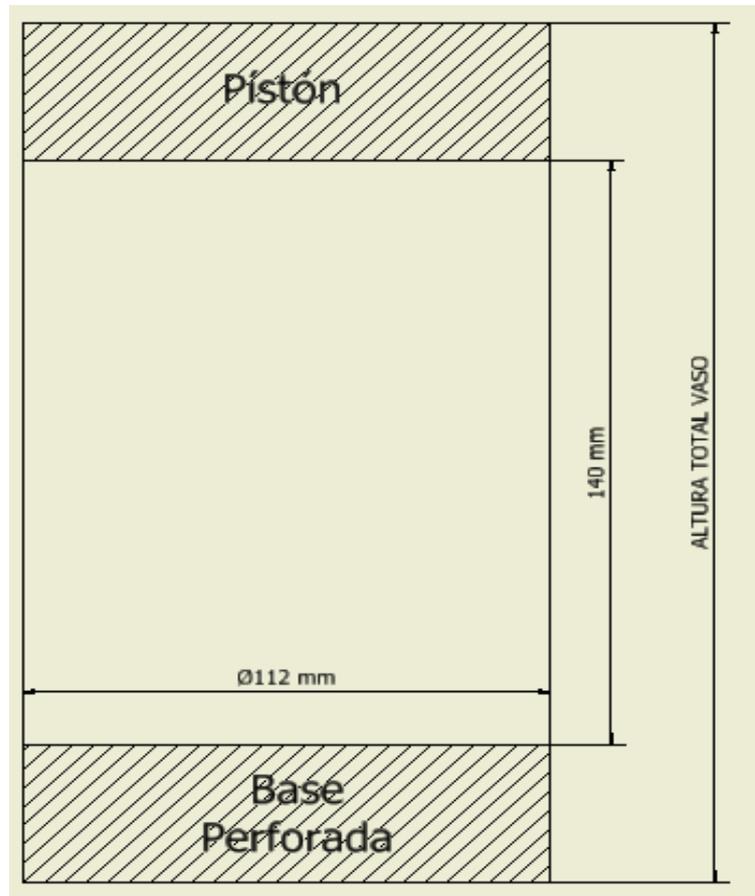
EQUIVALENCIAS Y PROPIEDADES

AISI	Resistencia a la tracción (Kg/mm ²)	Resistencia a la cedencia mín. (Kg/mm ²)	Elongación %	Dureza HB (max)	W. Nr	AF NOR	European Designation	SS
304	54-75	23	40-50	190	1.4301	Z7C N18-09	X5CrNi18-10	2332
316 L	53-68	24	40-50	200	1.4404	Z3CND17-11-02	X2CrNiMo17-12-2	2343
430	45-60	26	20	180	1.4016	Z8C17	X6Cr 17	2320

Aceros con L: 304-L y 316-L tienen ventajas sobre los aceros inoxidables 304 y 316, en cuanto a su mejor soldabilidad. Al tener los aceros con L menor contenido de carbono, disminuye su capacidad de precipitación de carburos al ser soldados, por lo que las zonas afectadas por el calor tienen mejor resistencia a la corrosión que los aceros convencionales 304 y 316. Esto es sumamente importante, cuando el medio corrosivo es crítico, como en el caso de alimentos y ácidos.

ANEXO 5

Diagrama del volumen interno del vaso de extracción.

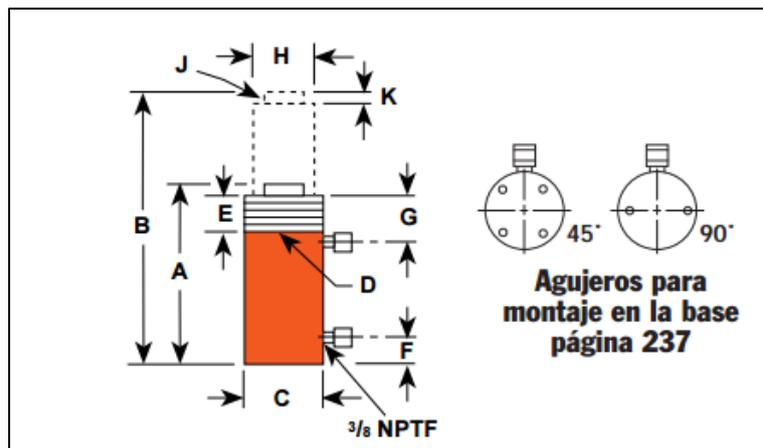


La altura efectiva del vaso es 140 mm y el diámetro interno es de 112 mm, en este espacio se vierte los 1,5 kg de licor de cacao, la altura total del vaso es la suma de la altura efectiva más la altura del pistón y de la base perforada.

ANEXO 6

Especificaciones de cilindro de 55 Toneladas.

Cyl. Cap. (tons)	Stroke (in.)	Order No.	Oil Capacity (cu.in.)		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	Load		Cyl. Eff. Area (sq.in.)		Int. Press. at Cap.		Tons at 10,000 psi		Prod. Wt. (lbs.)	
			Push	Pull	Re-tracted Height (in.)	Ex-tended Height (in.)	Out-side Dia. (in.)	Collar Thread Size (in.)	Thread Length (in.)	Port to Piston (in.)	Cylinder Top to Port (in.)	Piston Rod Dia. (in.)	Rod Int. and (in.)	Piston Rod Pro-trusion (in.)	Cap Dia. (in.)	Bore Dia. (in.)	Push	Pull	Push	Pull	Push	Pull		
			Push	Pull	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)	(in.)		(in.)
10	4	6 ³ / ₄	RD106	13.9	5.5	11 ¹¹ / ₁₆	17 ¹⁵ / ₁₆	3	2 ³ / ₄ -12	1 ⁵ / ₈	1	2 ¹ / ₂	1 ⁵ / ₁₆	1-8x1	1/4	1 ³ / ₈	1 ¹¹ / ₁₆	2.23	0.88	8,943	9,055	11.2	4.4	22
10	4	10	RD1010	22.3	8.8	15 ¹¹ / ₁₆	25 ¹¹ / ₁₆	3	2 ³ / ₄ -12	1 ⁵ / ₈	1	2 ¹ / ₂	1 ⁵ / ₁₆	1-8x1	1/4	1 ³ / ₈	1 ¹¹ / ₁₆	2.23	0.88	8,943	9,055	11.2	4.4	28
25	8	6 ³ / ₄	RD256	32.2	10.1	12 ³ / ₈	18 ⁵ / ₈	4	4-12	1 ⁵ / ₈	1	2 ¹ / ₂	2 ¹ / ₈	1 ¹ / ₂ -16x1	3/8	2 ¹ / ₈	2 ⁹ / ₁₆	5.15	1.61	9,695	9,934	25.8	8.0	39.8
25	8	14 ¹ / ₄	RD2514	73.5	22.9	20 ³ / ₈	34 ⁵ / ₈	4	4-12	1 ⁵ / ₈	1	2 ¹ / ₂	2 ¹ / ₈	1 ¹ / ₂ -16x1	3/8	2 ¹ / ₈	2 ⁹ / ₁₆	5.15	1.61	9,695	9,934	25.8	8.0	65
55	28	6 ³ / ₄	RD556	69.0	35.2	12 ³¹ / ₃₂	19 ⁷ / ₃₂	5	5-12	1 ⁵ / ₈	1 ⁵ / ₁₆	2 ¹ / ₂	2 ⁵ / ₈	1 ¹¹ / ₁₆ -8X1 ³ / ₁₆	5/8	2 ⁵ / ₈	3 ³ / ₄	11.04	5.63	9,959	9,941	55.2	28.2	61.4
55	28	13 ¹ / ₈	RD5513	144.9	73.9	19 ²⁷ / ₃₂	32 ³¹ / ₃₂	5	5-12	1 ⁵ / ₈	1 ⁵ / ₁₆	2 ¹ / ₂	2 ⁵ / ₈	1 ¹¹ / ₁₆ -8X1 ³ / ₁₆	5/8	2 ⁵ / ₈	3 ³ / ₄	11.04	5.63	9,959	9,941	55.2	28.2	90



Agujeros para montaje.

Tonnage	10	25	55
No. Of Holes	2	4	4
Thread Size	3/8-16	1/2-13	5/8-11
Depth	5/8	3/4	7/8
B.C. Dia	2	2 3/4	3 1/2
Orientation	Consult the factory.		

ANEXO 7

Bomba Hidráulica.



For use with Cyl. Type	Description	Order No.	Valve Type	Valve No.	Valve Function	Control Switch ††	Motor	Reservoir Usable (ca. in.)
Single-Acting	Base model pump with 1/2 hp pump with 2 gal. thermoplastic reservoir.	PE172	2-Way	9517	Advance Return (Auto†)	Remote Motor Control (10ft.) on/off	1/2 hp, 110/115V* 50/60 Hz, Single Phase	295
Single-Acting	PE172, except has 2 1/2 gal. aluminum reservoir.	PE172M	2-Way	9517	Advance Return (Auto†)	Remote Motor Control (10ft.) on/off	1/2 hp, 110/115V* 50/60 Hz, Single Phase	375
Single-Acting	PE172, has solenoid operated valve.	PE172S	3-Way	9579	Advance Hold Return	Remote Motor & Valve (25 ft.)	1/2 hp, 110/115 VAC 50/60 Hz, Single Phase	295
Single-Acting	PE172S, except has aluminum reservoir.	PE172SM	3-Way	9579	Advance Hold Return	Remote Motor & Valve (25 ft.)	1/2 hp, 110/115 VAC 50/60 Hz, Single Phase	375
Single-Acting	Best suited for crimping, punching, pressing. Not for lifting. Thermoplastic reservoir.	PE172A	Auto./Dump Manifold	45554	Advance Return	Remote Motor Control (10ft.) on/off	1/2 hp, 110/115V* 50/60 Hz, Single Phase	295
Single-Acting	PE172A, except has aluminum reservoir.	PE172AM	Auto./Dump Manifold	45554	Advance Return	Remote Motor Control (10ft.) on/off	1/2 hp, 110/115V* 50/60 Hz, Single Phase	375
Single/Double-Acting	PE172, except has 9500 double-acting valve.	PE174	4-Way	9500	Advance Hold Return**	Remote Motor Control (10ft.) on/off	1/2 hp, 110/115V* 50/60 Hz, Single Phase	295
Single/Double-Acting	Same as PE174, except has aluminum reservoir.	PE174M	4-Way	9500	Advance Hold Return**	Remote Motor Control (10ft.) on/off	1/2 hp, 110/115V* 50/60 Hz, Single Phase	375

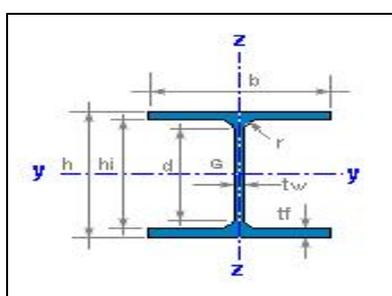
ANEXO 8

Propiedades del acero ASTM A36 y del perfil HEB 200

ASTM A-36

Esfuerzo de fluencia	Sy	250 MPa
Esfuerzo ultimo tracción	Sut	400 MPa
módulo de elasticidad	E	207 GPa
porcentaje de elongación	%e	21

Perfil HEB 200

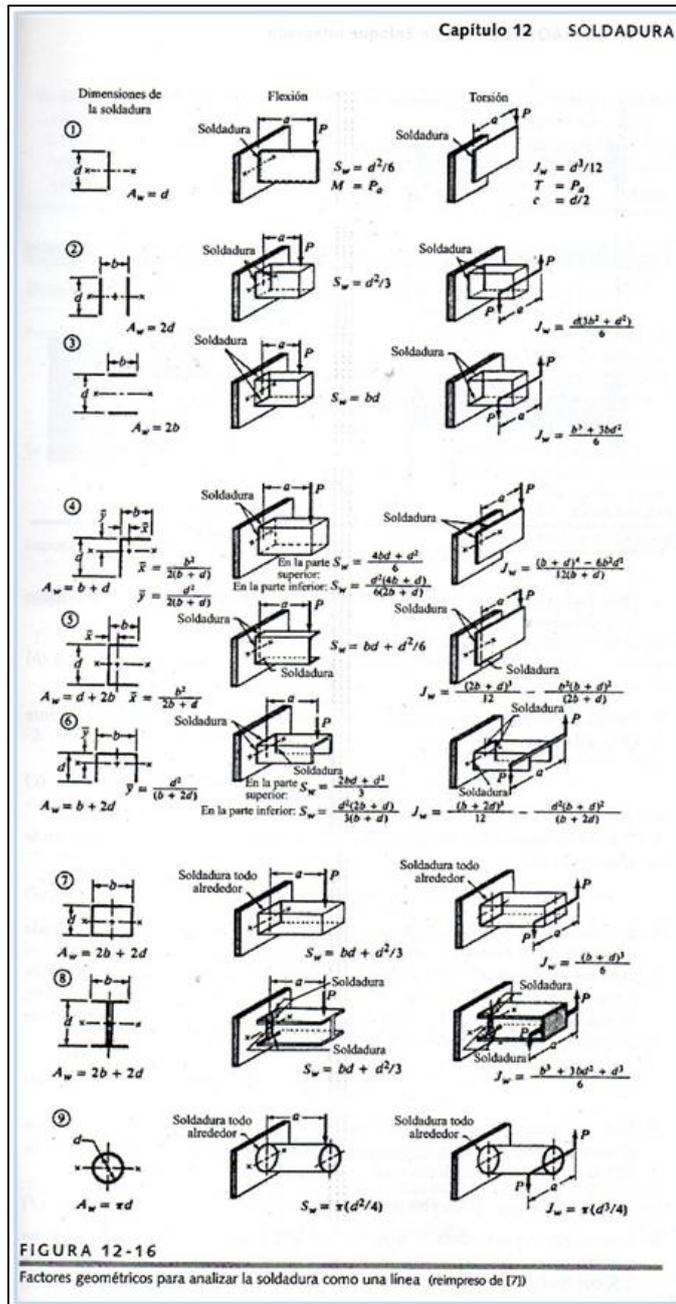


h	200 mm	r	18 mm
b	200 mm	d	134,0 mm
tw	9,0 mm	hi	170,0 mm
tf	15,0 mm		
A	78,1 cm ²	M	61,3 kg/m
Iy	5697 cm ⁴	Iz	2003 cm ⁴
Zy	569,7 cm ³	Zz	200,3 cm ³
Zply	642,6 cm ³	Zplz	305,8 ³
iy	8,54 cm	iz	5,07 cm
It	59,7 cm ⁴	Iw	171413 cm ⁶
Sy	321,3 cm ³	Avz	24,84 cm ²
sy	17,7 cm		
AL	1,151 m ² /m	AG	18,78 m ² /t

ANEXO 9

Soldadura.

Factores geométricos para analizar los cordones de soldadura como una línea.



ANEXO 10

Pernos Seleccionados.

Perno para ensamble cilindro hidráulico con base estructura.

Según el fabricante los pernos del ensamble deben de ser Pernos de 5/8 pulg- 11 hilos por pulgada, de grado SAE 8 mínimo, longitud total de 1,75 pulg.

SAE: Society of Automotive Engineers

NUMERO DE GRADO	MATERIAL	CARGA DE PRUEBA (KPSI)	ESFUERZO DE RUPTURA (KPSI)
1 , 2	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	55 - 33	74 - 60
5	Acero al carbono, templado y revenido	85 - 74	120 - 105
5.2	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	85	120
7	Acero al carbono aleado, templado y revenido	105	133
8	Acero al carbono aleado, templado y revenido	120	150
8.2	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	120	150

Perno para malla de la base perforada.

Se seleccionó un perno M6x1 con una longitud de 10 mm hecho de acero inoxidable AISI 304, para sostener la malla de acero inoxidable a la base perforada.

MEDIDA	DIÁMETRO MM (A)	DIÁMETRO PLG (A)	PASO ROSCA GRUESA (B)	PASO ROSCA FINA (B)	LLAVE HEX MM (C)
M 4	4.00	0.157	0.70		7
M 5	5.00	0.197	0.80		8
M 6	6.00	0.236	1.00		10
M 8	8.00	0.315	1.25	1.00	13
M 10	10.00	0.394	1.50	1.00 / 1.25	17
M 12	12.00	0.472	1.75	1.25 / 1.50	19
M 14	14.00	0.551	2.00	1.50	22
M 16	16.00	0.630	2.00	1.50	24
M 18	18.00	0.709	2.50	1.50	27
M 20	20.00	0.787	2.50	1.50	30
M 22	22.00	0.866	2.50	1.50	32
M 24	24.00	0.945	3.00	2.00	36

ANEXO 11

Cálculo del sistema de calentamiento eléctrico

Siendo el cilindro de la cámara de extracción el componente con mayor cantidad de masa a calentar, y el material con el cual está fabricado es acero AISI 304.

Las dimensiones del área a calendar serán:

$$\begin{aligned} D \text{ int: } 0,112 \text{ m} & \quad Vol \text{ vaso} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * (D_{ext}^2 - D_{int}^2) * h \\ D \text{ ext.: } 0,181 \text{ m} & \quad Vol \text{ vaso} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * ((0,181\text{m})^2 - (0,112\text{m})^2) * 0,07\text{m} \\ h: 0,07 \text{ m} & \quad Vol \text{ vaso} = 0,0011 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

Siendo la densidad acero 7900 kg/m^3 y el calor específico $0,5 \text{ kJ/kg}^{\circ\text{C}}$:

$$\begin{aligned} m \text{ acero} &= \rho_{acero} * Vol \text{ vaso} \\ m \text{ acero} &= 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,0011 \text{ m}^3 = 8,78 \text{ kg} \\ Q &= m \text{ acero} * C_p \text{ acero} * \Delta T. \\ Q &= 8,78 \text{ kg} * 0,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^{\circ}\text{C}} * (110^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}) = 351 \text{ kJ} \\ \frac{Q}{t} &= \frac{351 \text{ kJ}}{5 * 60 \text{ s}} = 1,170 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{W}}{\frac{1 \text{ kJ}}{\text{s}}} = 1170,66 \end{aligned}$$

El sistema solo debe mantener caliente el licor de cacao, además el licor debe entrar precalentado se usará una resistencia de 1000 Wattios.

ANEXO 12

Análisis entre sistema original y sistema rediseñado para la extracción de manteca de cacao

Base Perforada

El medio por el cual fluye la manteca de cacao extraída del licor de cacao hacia el exterior de la cámara de extracción es una base cilíndrica perforada. En el diseño original dispone de una base con perforaciones de 2 mm de diámetro cada 45° dispuestas en 8 circunferencias separadas cada 4,27 mm, en total cuenta con 56 agujeros. Basados en que al realizar un gran número de perforaciones se debilita la base de extracción en el diseño propuesto se han disminuido las perforaciones a 24, de un diámetro de 2,38 mm estas perforaciones están dispuestas cada 45° en 3 circunferencias dispuestas en el área de la base de extracción las cuales están interconectadas por medio de canales circulares que direccionan la grasa filtrada desde el interior de la cámara de extracción hacia la base recolectora del exterior.

Malla Filtrante

Los elementos filtrantes en el sistema de extracción manual y en el propuesto en este trabajo son mallas filtrantes de 200 mesh en acero inoxidable AISI 304.

Sistema de Sellado

En el proceso de extracción de manteca de cacao trabaja a grandes presiones y se mantienen por tiempos prolongados por lo que se necesita un sistema de sellado efectivo. El sistema original cuenta con un o-ring ubicado en el pistón, el sistema nuevo usa tela filtrante de poliéster la cual se coloca conforme a la figura.

Sistema de conservación de temperatura de extracción

Para lograr una mejor fluidez y extracción de la manteca de cacao se ha colocado una faja térmica alrededor de la superficie de la cámara de extracción la cual permite conservar una temperatura de extracción de ente 95 a 100 °C, en el diseño original se usa una faja de resistencia eléctrica de 1000 Watts, basados en pruebas de campo para cilindros con el espesor seleccionado en el nuevo diseño se ha encontrado que para calentar el cilindro se necesita usar una resistencia de 400 Watts.

Masa de licor de Cacao usado en extracción

La capacidad de la cámara de extracción en el sistema manual es de 1 kg de licor de cacao, esta capacidad se ha aumentado en el sistema oleo-hidráulico semiautomático propuesto en un 50%.

Torta de cacao extraída

El diseño original extraía la totalidad de la grasa contenida en el licor que se prensaba lo cual daba como resultado una torta seca es decir sin contenido de grasa la cual tiene un valor inferior en el mercado, en esta propuesta se diseña el equipo para producir una torta con un porcentaje de grasa entre un 20% y 22% lo cual permite cumplir con estándares del mercado internacional lo que resulta en una mayor facilidad de venta. Por lo que tenemos que en el diseño original se extrae una torta correspondiente al 50% de la masa de licor y en el diseño propuesto en este trabajo se tiene una torta correspondiente al 60% de la masa de licor prensado.

Tiempo de extracción

El tiempo de extracción es un factor fundamental en el presado de licor de cacao ya que existe una relación directa entre el la presión de prensado y el tiempo de prensado o tiempo de extracción, para lo cual de referencias bibliográficas (MORALES L, 2010) indican que para conseguir extraer el 40% de la manteca de cacao a una presión del 80% de la presión requerida para el prensado se lo consigue en tiempos entre los 20 y 30 minutos, en este diseño debido a que la extracción se la realizará por la parte superior e inferior de la cámara de extracción se espera que el tiempo de extracción sea el menor del rango es decir 20 minutos.

Capacidad de extracción de manteca de cacao

Tomando en cuenta que el diseño original extrae 0,5 kg de manteca de cacao en un tiempo de 30 minutos y que el sistema de extracción oleo-hidráulico propuesto extrae 0.6 kg de manteca de cacao en 20 minutos tenemos que el sistema propuesto extrae un 80% de manteca de cacao por hora que el sistema de extracción manual.

Sistema hidráulico de extracción

Una ventaja que presenta el re diseño propuesto en comparación al sistema primario es el sistema hidráulico debido a que se ha implementado un tablero de control desde el cual por medio de pulsar un botón se realiza el trabajo de compresión sin producir el desgaste del operador que en el caso anterior debía bombear aceite al cilindro para realizar la compresión mediante una bomba manual.

El sistema hidráulico comprende un cilindro de doble efecto que cual permite hacer retrocesos controlados del pistón lo cual no se tenía con el cilindro del sistema primario ya que este al ser de simple efecto al requerir retroceder el pistón por cualquier motivo se debe retroceder todo el recorrido del pistón y nuevamente el operario debe hacer uso de su fuerza para el avance del pistón hasta la posición requerida.

Estructura de la prensa

Debido a las elevadas presiones de prensado la estructura que soporta el sistema de extracción de manteca de cacao juega un papel importante para evitar flexiones en las vigas que producirían un desalineado del sistema de extracción. En el sistema de extracción manual se usó vigas HEB de 180 mm de ala con un peso total de 184 kg, para el sistema rediseñado se usará vigas HEB de 200 mm de ala debido a que se tiene un vaso de extracción es de mayor dimensión al diseñado en el sistema de extracción manual.

Sistemas de seguridad del equipo.

La sobre presión que pueda existir en el sistema hidráulico podría producir fallas en los elementos por los cuales circula el fluido hidráulico lo cual a más de daños físicos al operario como al equipo podría tener como consecuencia derrames de fluido hidráulico causando una contaminación al medio en el cual se encuentra el equipo, por lo cual para evitar sobre presiones se ha colocado un elemento de control en la línea del sistema hidráulico el cual se denomina válvula de alivio la cual permite evitar sobre presiones gracias a su diseño que al existir una presión mayor a la configurada en este elemento se abre dejando retornar el fluido hidráulico al tanque reservorio.

En el proceso de prensado se debe tener muy en cuenta el alineado del sistema de extracción ya que un des alineamiento entre el pistón del cilindro hidráulico de doble efecto y el sistema de vaso de extracción podría llevar a un des acoplado brusco de los elementos lo cual incurriría en una salpicadura de elementos metálicos y licor caliente hacia el operario, para minimizar el riesgo del des acoplamiento de los elementos de prensado se ha considerado en el diseño un elemento de unión entre el pistón del cilindro hidráulico y el pistón del vaso de extracción. Adicional a esto se ha implementado un par de puertas anti salpicaduras que se cierran antes de iniciar cada ciclo para en caso de salpicaduras no lleguen al operario.

ANEXO 13

Costos Operativos de sistema de extracción.

Para el cálculo de los costos de operación se tomará en cuenta los datos tomados tabla que contiene los gastos requeridos para la producción.

Costo	Valor
Costo de kWatio/mes	\$ 60,00
Costo de operario/ mes	\$ 450,00
Costo de malla filtrante/ mes	\$ 40,08
Costos varios	\$ 180,00
TOTAL	\$ 730,08

Se puede ver que se tiene un gasto mensual de \$730, ahora conociendo el valor anual de licor de cacao a procesar tenemos que se podría procesar 780 kg/mes teniendo como resultado 468 kg/mes de torta de cacao con 20% de manteca y 312 kg/mes de manteca de cacao, de la tabla 1 de exportación de cacao tenemos que por la torta se recibiría \$1.207,01 y \$ 2.061,09 por la manteca extraída lo cual nos deja un ingreso mensual de \$ 3.268,11.

Con esto podemos concluir que si se procesaran al año 9.360,00 kg/año de licor de cacao se tendría un ingreso de \$39.217,38 versus los \$26.785,04 por la venta del cacao crudo lo cual se traduce en un 32% más de utilidad.

ANEXO 14

Presión trabajo vs Presión prensado.

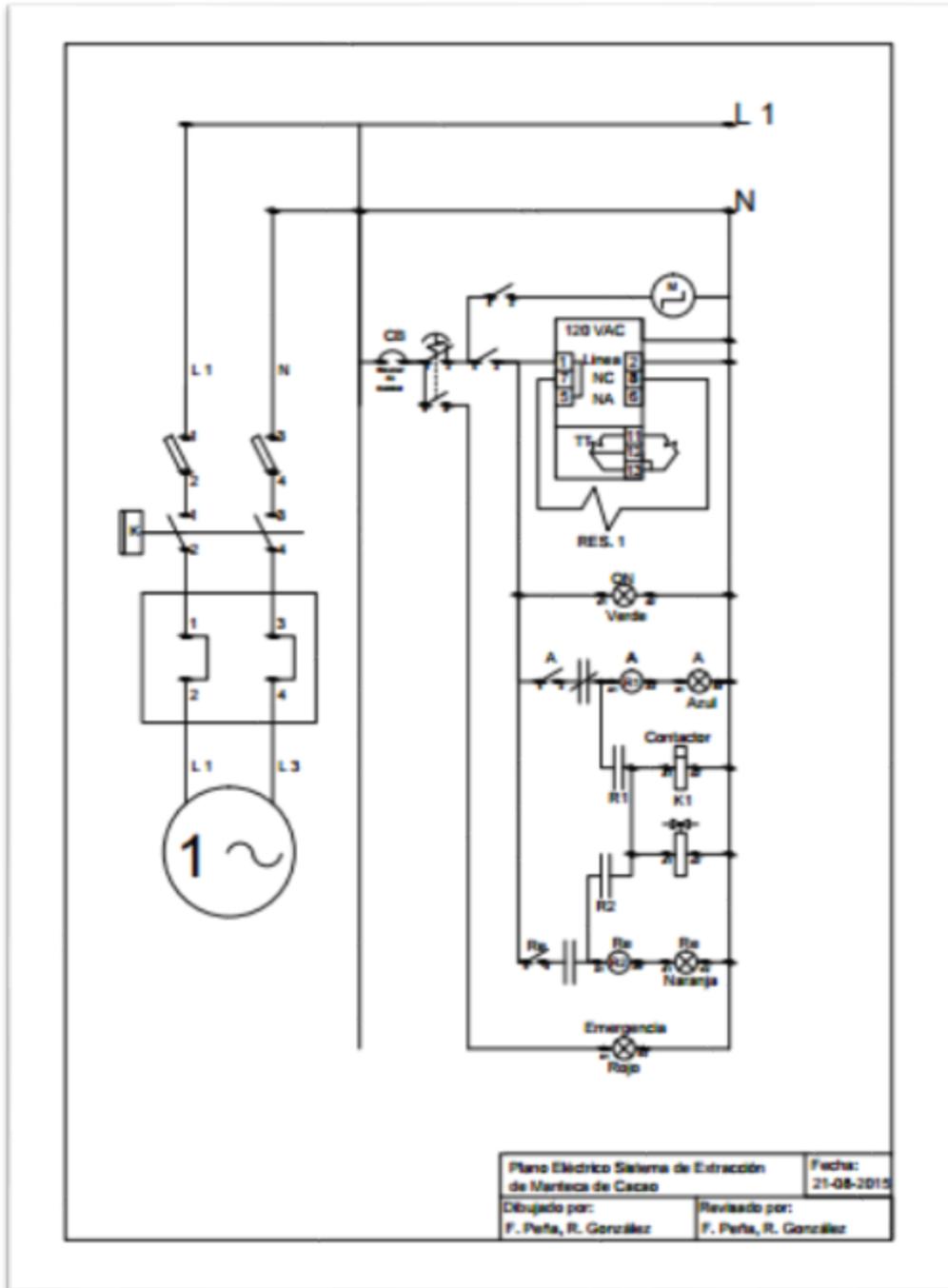
La presión del sistema hidráulico no es la misma que la presión de prensado, a continuación se muestra una tabla que relaciona la presión de trabajo con la presión dentro del vaso de extracción:

Pw (Bares)	P prensado (Mpa)
100	7,33
150	10,99
200	14,66
250	18,32
300	21,99
350	25,65
400	29,31
450	32,98
500	36,64
600	43,97
650	47,63
683	50,05
690	50,57

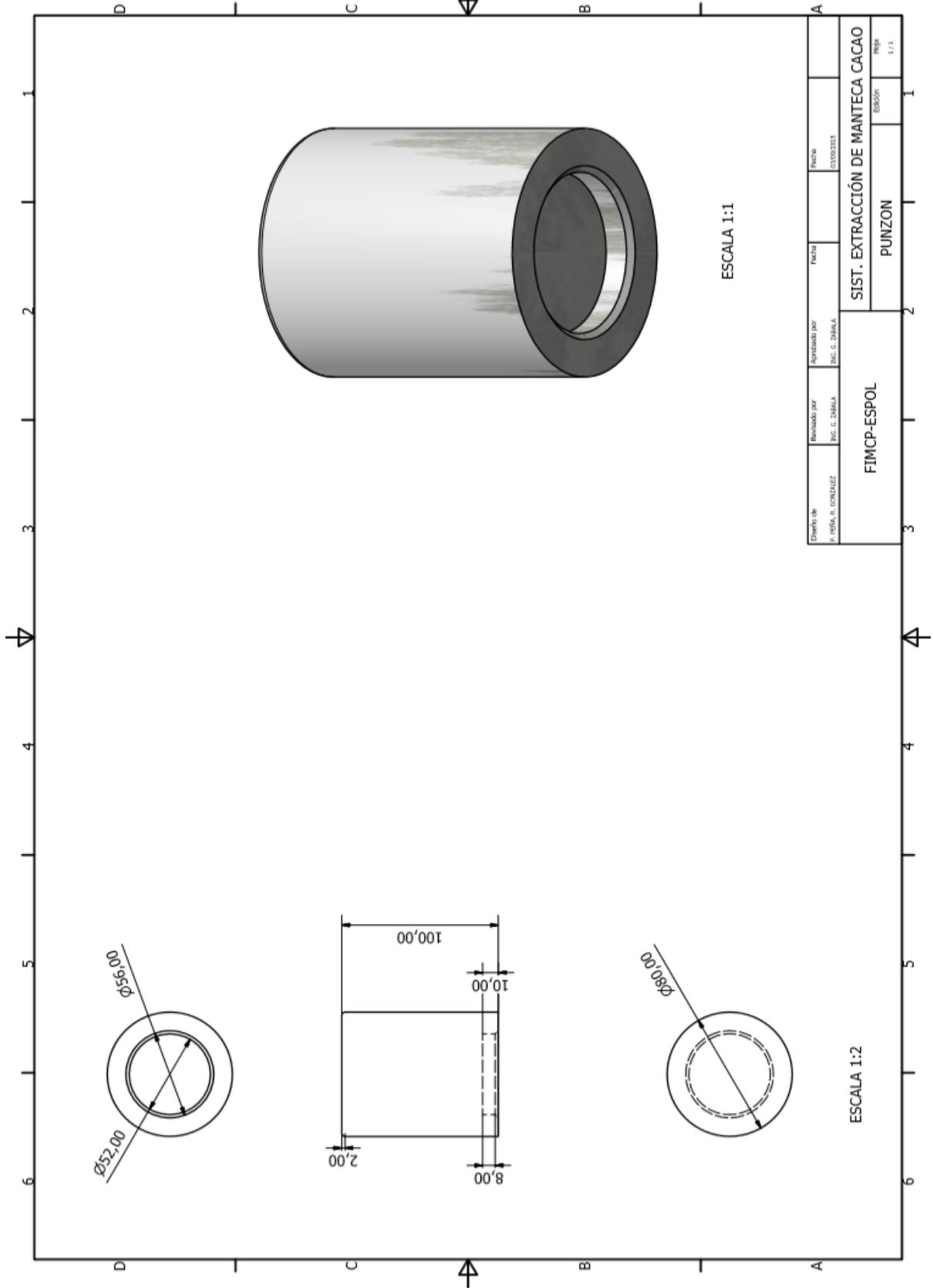
La presión máxima de trabajo del sistema hidráulico es 690 bares, este valor será configurado en la válvula de alivio para garantizar la integridad de todo el sistema de extracción, el valor de operación para el sistema será 670 bares, garantizando una presión de extracción o prensado de 49 MPa.

PLANOS ESQUEMATICOS.

PLANO 1: PLANO ELÉCTRICO.

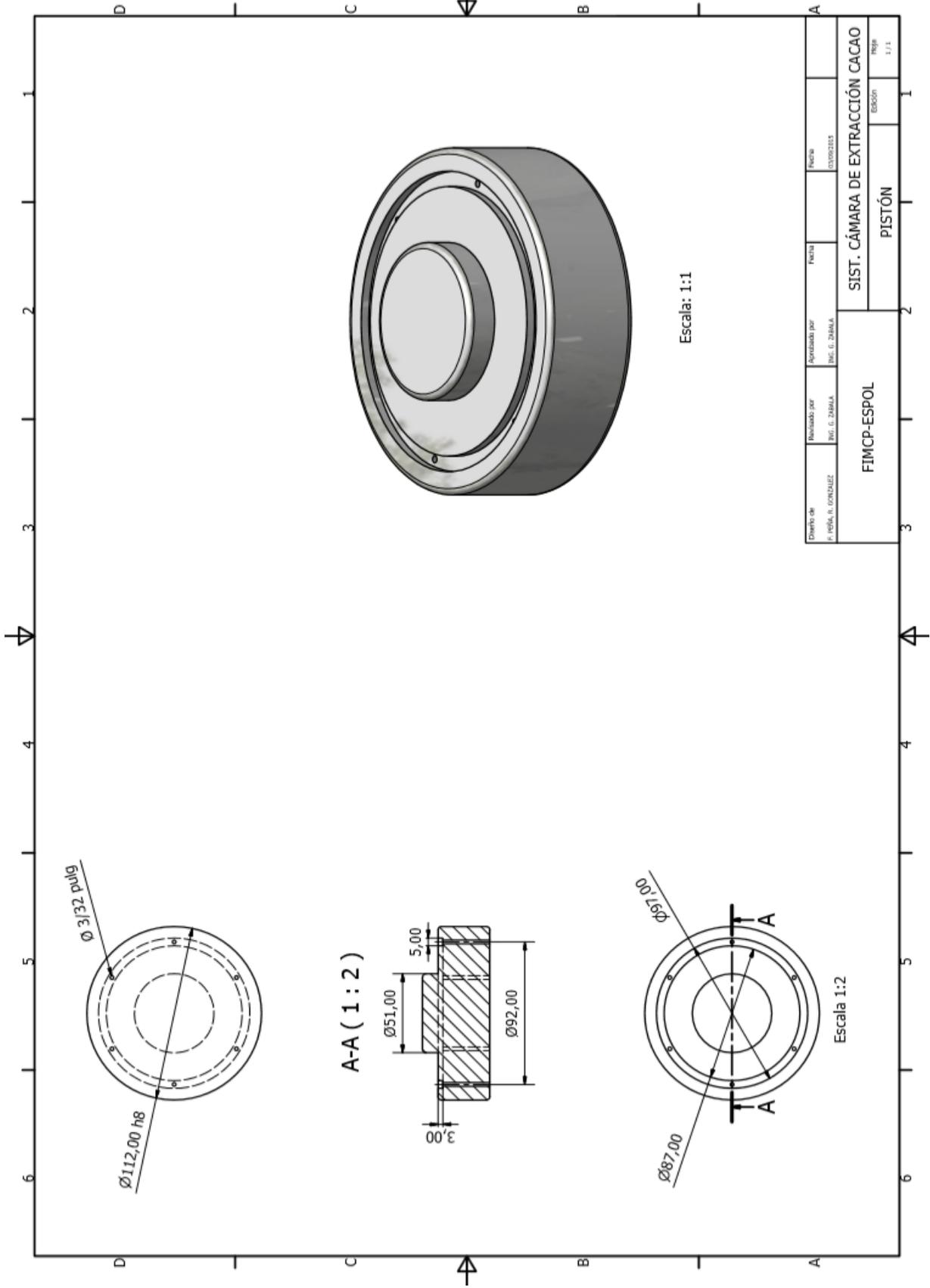


PLANO 2: PUNZÓN.



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	Fecha
Dr. JOSÉ R. GONZÁLEZ	ING. G. ZARALÁ	ING. G. ZARALÁ	03/10/2013		
FIMCP-ESPOL			SIST. EXTRACCIÓN DE MANTECA CACAO		
			PUNZÓN		
			Escala		
			1:1		

PLANO 3: PISTÓN

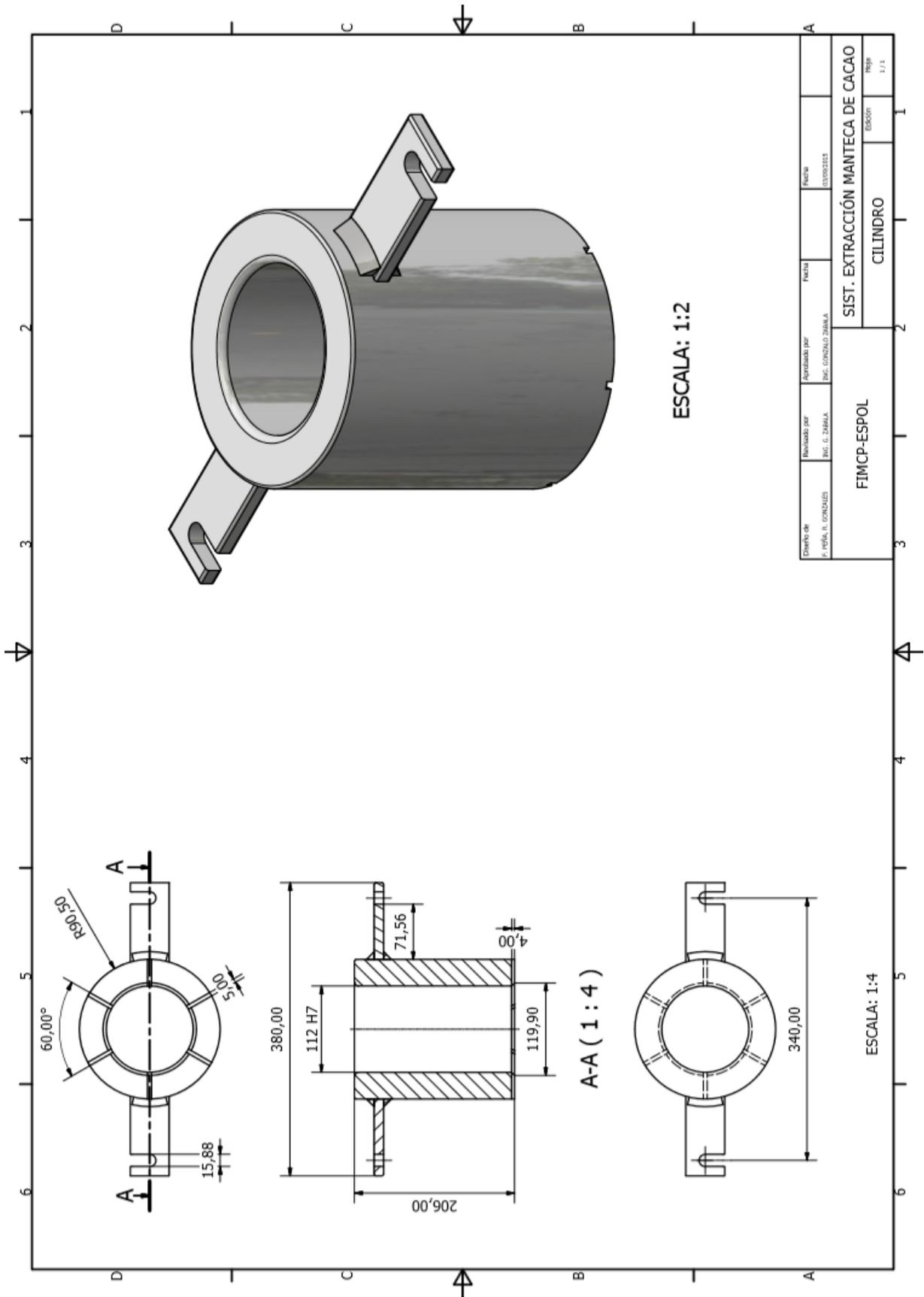


Escala: 1:1

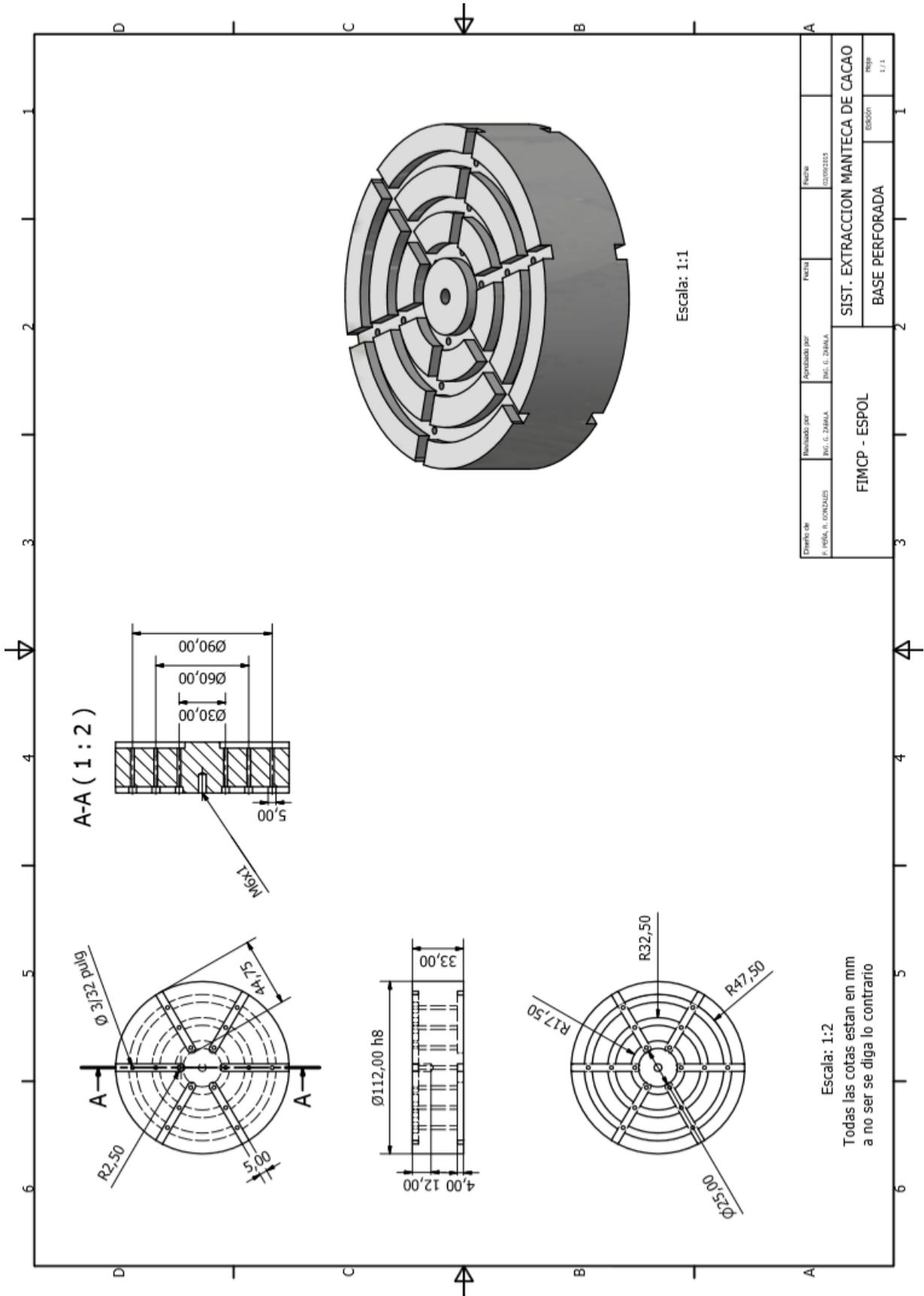
Escala 1:2

Diseñado por D. ROSA, R. GONZALEZ	Revisado por ING. G. ZARBAJA	Aprobado por ING. G. ZARBAJA	Fecha 03/09/2015	Fecha 03/09/2015
FIMCP-ESPOL			SIST. CÁMARA DE EXTRACCIÓN CACAO	
PISTÓN			ESD00	REP 1:1

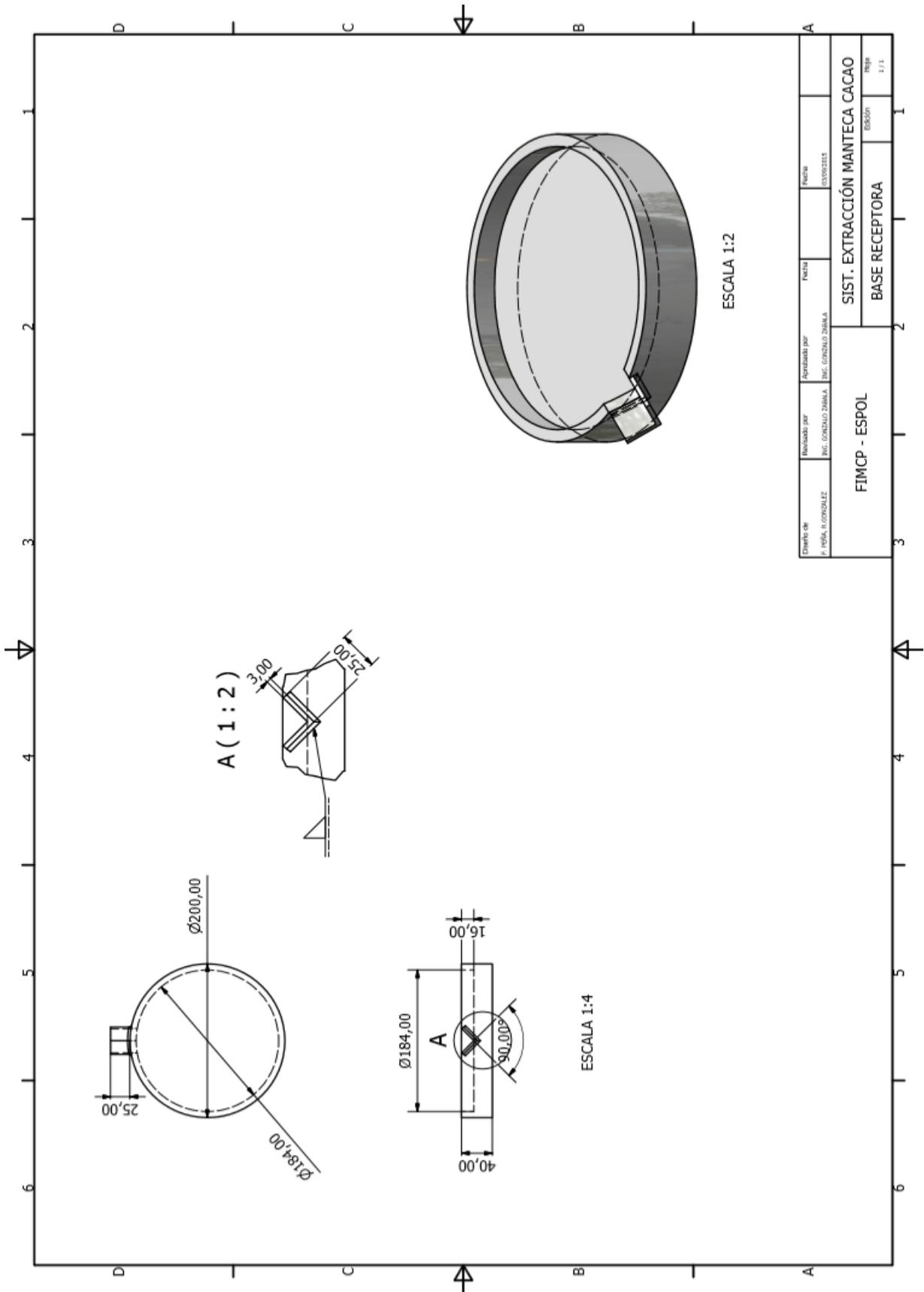
PLANO 4: CILINDRO



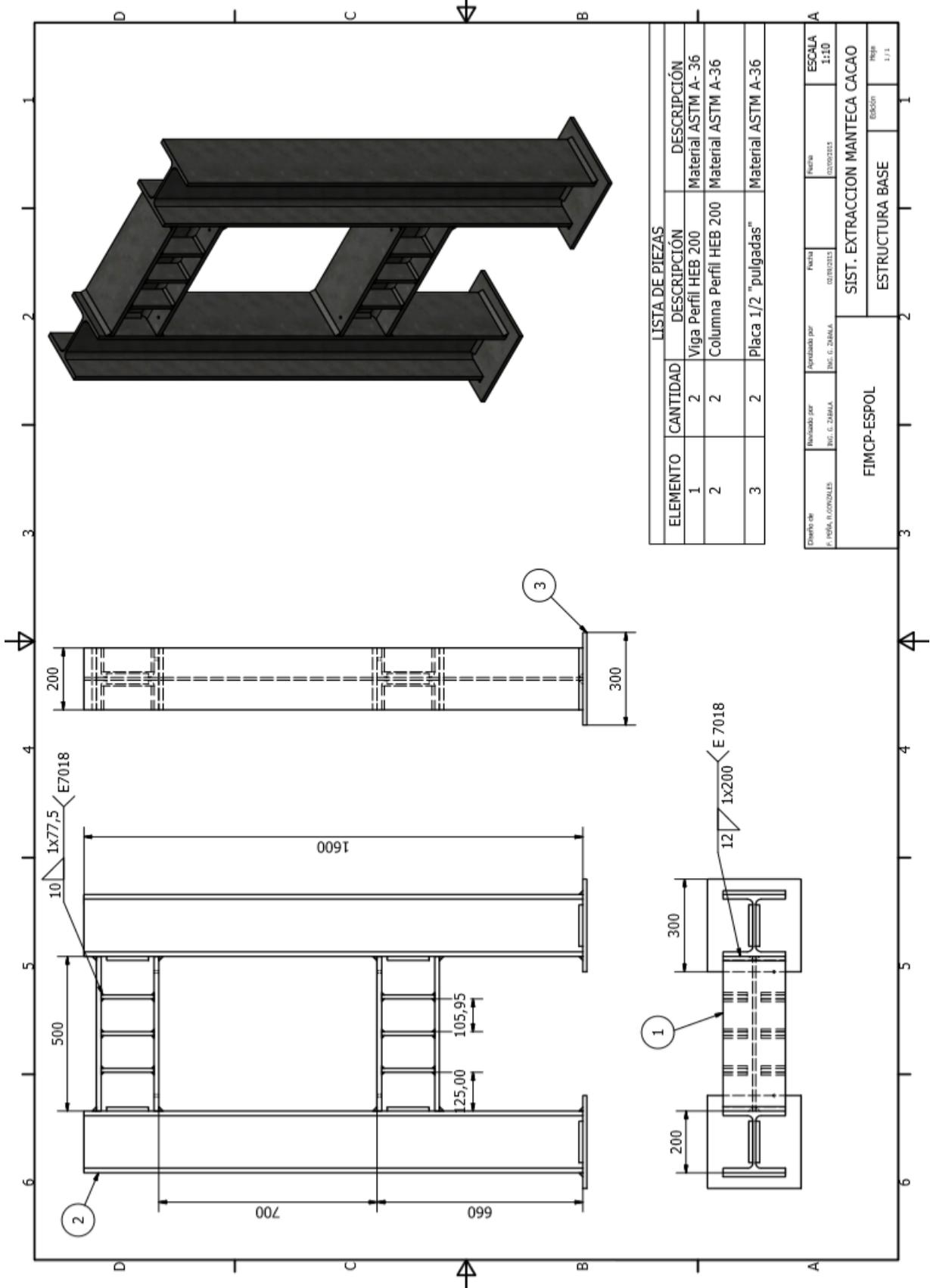
PLANO 5: BASE PERFORADA.



PLANO 6: BASE RECEPTORA.



PLANO 7: BASE ESTRUCTURA.



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	2	Viga Perfil HEB 200	Material ASTM A-36
2	2	Columna Perfil HEB 200	Material ASTM A-36
3	2	Placa 1/2 "pulgadas"	Material ASTM A-36

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	ESCALA
P. ROSA R. GONZALES	ING. G. ZARBA	ING. G. ZARBA	03/03/2011	1:10
FIMCP-ESPOL		SIST. EXTRACCION MANTECA CACAO		
		ESTRUCTURA BASE		
		Estructura		
		1:1		

PLANO 8: MALLA DE SEGURIDAD

