

Diseño de una Prensa Hidráulica para realizar Extracción de Manteca de Cacao a partir del Licor
de Cacao

Miguel Sneider Grass Plata

Edwin Andrés Vera Parra

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Mecánico

Director

Ricardo Alfonso Jaimes Rolón

Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Esta tesis es dedicada a todas las personas que en su momento contribuyeron enormemente en mi desarrollo no solo académico si no como persona, amigos, compañeros, profesores y mi familia.

Le dedico con gran orgullo este logro primeramente a mi madre quien siempre se sacrificó por mí, aunque la ingeniería fue difícil y me produjo muchas recaídas emocionales ella siempre estuvo ahí recordándome que no estaba solo, aunque la distancia nos separaba, siempre me comprendió y apoyo en las decisiones que tomaba, y me escucho cuando lo necesitaba, siempre será la primera persona en mi vida y es ella mi símbolo de amor verdadero.

Doy gracias a mi padre quien desde un principio creyó en mí y aun que mis resultados académicos no fuera lo mejores siempre creyó y me tuvo la paciencia para salir adelante, siempre pude sentir el orgullo en sus ojos a pesar de todas las dificultades, nunca lo perdió, aun que parecía que todos ese esfuerzo seria en vano el siempre creyó en mí, incluso más que yo, le soy gracias por su gran esfuerzo sé que todo lo que me pudo dar era muchas veces todo lo que tenía y es un valor que jamos podre retribuirle, solo los padres son capaces de ver el futuro en los ojos de sus hijos.

Por último, le doy gracias a Dios por dejarme estar con estas personas en todo este proceso que solo ellos saben cómo fue y el sacrificio que nos tomó llegar hasta aquí.

Miguel Sneider Grass Plata

Dedicatoria

Este logro se lo dedico en primer lugar a Dios, por brindarme la salud y la fortaleza para superar cada obstáculo que se me presenta.

A mis padres Ciro Vera y María Victoria Parra, por el sacrificio que día a día hacen por mí, por su enseñanza de seguir adelante en cualquier dificultad.

A mi Tía Liliana Vera y Freddy Ortega por brindarme la confianza, el apoyo condicional y la gran motivación.

A mis primos Alexander Ríos Vera, Yilda Mireya Vera y Hernando Vera, quien han estado presente en todo este proceso brindándome su apoyo cuando lo necesite.

A mi compañera sentimental y amiga Andrea Ramírez, quien me estuvo apoyando y dando me fuerza en cada momento de dificultad, te agradezco de la manera más sincera por todas las ayudas en la elaboración de este proyecto, por tus incontables apoyos para mi vida y ahora más con el nuevo proyecto que se viene en camino.

Edwin Andrés Vera Parra

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios primeramente por haber puestos a las personas que necesite conocer y me ayudaron a llegar hasta qui

También quiero agradecer a mi padrastro Gerardo Arévalo quien a pesar de no tener ningún deber conmigo siempre me apoyo en momentos críticos de mi carrera, siempre respeto mi opinión, aunque fuera diferente a la suya y me escucho como a otro adulto, le doy gracias por ese apoyo y respeto que siempre percibí en él.

Quiero agradecerle al profesor Manuel Gómez Carreño quien fue mi profesor de cálculo en la escuela o posteriormente en la universidad, fue gracias a él que pude entender las matemáticas a pesar de mi baja comprensión y dificultad que me resultaban, aunque él no lo sabe, fue gracias a él que puedo iniciar mi camino en la ingeniería.

Con gran aprecio le agradezco al profesor Oscar Bohórquez que aun que él no es consciente siempre fue alguien en quien me apoye para resolver mis dificultades académicas, le tengo admiración por su compromiso con la academia y por su forma tan partícular de transmitir sus enseñanzas.

Al profesor Ricardo Jaimes quien fue nuestro guía en este proyecto, nos enseñó la complejidad de los detalles y a mantener la mente abierta al rediseño.

Miguel Sneider Grass Placa

Tabla de Contenido

	Pág.
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1. OBJETIVOS	19
1.1 Objetivo general.....	19
1.2 Objetivos específicos	19
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
3. ALCANCE.....	21
4. MARCO TEÓRICO.....	21
4.1 Antecedentes	21
4.1.1 Antecedentes a nivel internacional	22
4.2 Referentes teóricos.....	24
4.2.1 Cacaos	24
4.2.2 Proceso para la obtención de manteca de cacao	25
4.2.3 Propiedades de la manteca y torta de cacao.....	26
4.2.4 Métodos de prensado del licor de cacao	28
4.2.5 Condiciones de operación	32
5. DISEÑO METODOLÓGICO.....	33
5.1 Tipo de diseño metodológico.....	33
5.2 Fases para el desarrollo de los objetivos del proyecto	33

5.2.1 Fase 1. Determinación de los parámetros iniciales de operación de la prensa hidráulica en el proceso de extracción de manteca de cacao.....	33
5.2.2 Fase 2. Propuesta de diseño conceptual para la prensa hidráulica.....	38
5.2.3 Fase 3. Diseño de detalle de la prensa hidráulica	40
5.2.4 Fase 4. Construcción y pruebas de calidad del producto obtenido junto a su manual de uso.	89
6. ANÁLISIS DE COSTOS.....	97
7. CONCLUSIONES	101
Bibliografía	102
ANEXOS	105

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Requisitos fisicoquímicos para la manteca de cacao.....	27
Tabla 2. Requisitos microbiológicos para la manteca de cacao.....	28
Tabla 3. Cálculo de la capacidad másica en programa EES.....	37
Tabla 4. Evaluación de alternativas mediante método PUGH.....	40
Tabla 5. Cálculos Diámetro interno y longitud recamara de compresión en Software EES.....	44
Tabla 6. Calculo Diámetro externo y selección Factor de seguridad recamara de compresión en Software EES.....	46
Tabla 7. Calculo diámetro y longitud del vástago en Software EES.....	51
Tabla 8. Perfil C estándar europeo- UPN.....	69
Tabla 9. Calidades de Aceros planos más comerciales en Colombia.....	71
Tabla 10. Láminas hot rolled ó laminas en calientes (dimensiones y peso).....	72
Tabla 11. Dimensiones del tornillo de cabeza hexagonal.....	80
Tabla 12. selección de cilindro hidráulico, catalogo Hi-Force.....	83
Tabla 13. Selección de bomba hidráulica, catalogo PowerTeam.....	85
Tabla 14. Presupuesto construcción de la prensa.....	98
Tabla 15. Tabla de costos de materiales para la recamara de compresión.....	99
Tabla 16. Presupuesto recursos varios.....	100

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Proceso extracción de la manteca de cacao	25
Figura 2. Prensa vertical	29
Figura 3. Cámara de extracción	29
Figura 4. Prensa horizontal POV 540.B2.14.....	30
Figura 5. Sección de una olla.....	31
Figura 6. Prensado por extrusión	31
Figura 7. Vista isométrica del prototipo de la prensa horizontal	38
Figura 8. Vista frontal del prototipo de la prensa horizontal	38
Figura 9. Vista isométrica del prototipo de la prensa horizontal	39
Figura 10. Vista frontal del prototipo de la prensa horizontal	39
Figura 11. Prototipo de prensa de tornillo extrusor	39
Figura 12. Prensa hidráulica representativa	41
Figura 13. Propuesta diseño conceptual recamara de compresión	42
Figura 14. Diseño detalle de la recamara de compresión medidas en [mm] en software SolidWorks	47
Figura 15. Simulación recamara de compresión en software SolidWorks.	47
Figura 16. Diseño detalle del pistón medidas en [mm] en Software SolidWorks.	52
Figura 17. Simulación de cargas en el vástago en software SolidWorks	53
Figura 18. Diagrama de cuerpo libre del embolo.	54
Figura 19. Resultados cálculos de espesor del embolo en software EES.	55

Figura 20. Vista lateral y superior embolo en software SolidWorks..... 56

Figura 21. Acople brida vástago-embolo..... 57

Figura 22. Esfuerzo de diseño del embolo en la simulación del software SolidWorks..... 57

Figura 23. Diseño conceptual de la placa de filtrado..... 58

Figura 24. Datos obtenidos al resolver ecuaciones con software EES 60

Figura 25. Modelado placa filtrante..... 60

Figura 26. Simulación de cargas sobre placa filtrante en Software SolidWorks..... 61

Figura 27. Representación ajuste de las tapas y la recamara de compresión en Libro Hernán Rojas.
..... 63

Figura 28. Ensamble subconjunto recamara de compresión..... 64

Figura 29. Vista seccionado subconjunto recamara de compresión. 64

Figura 30. Diagrama de la viga con las fuerzas aplicadas 65

Figura 31. Diagrama de cuerpo libre de la viga..... 66

Figura 32. Diagrama de Fuerza cortante..... 67

Figura 33. Diagrama de momento flexionante. 67

Figura 34. Perfiles en U ó C estándar europeo-UPN y perfil C sección Pequeña. 68

Figura 35. Modelado de la viga por el programa SolidWord..... 70

Figura 36. Simulación de la viga por el programa SolidWord..... 70

Figura 37. Dimensionamiento de Lámina en caliente 71

Figura 38. Sección transversal del ancho de la columna 73

Figura 39. Razones de esbeltes..... 74

Figura 40. Razón de esbeltez de transición Cc contra resistencia a la cedencia del acero..... 75

Figura 41. Modelado de la columna por el programa SolidWord 77

Figura 42. Simulación de la viga por el programa SolidWord.	77
Figura 43. Sección izquierda de bastidor.	78
Figura 44. <i>Diagrama de cuerpo libre del perno.</i>	78
Figura 45. Ficha técnica del tornillo milimétrico hexagonal de rosca parcial.	80
Figura 46. Imagen representativa del cilindro hidráulico según del catálogo Hi-Force	83
Figura 47. Ilustración componentes de una prensa hidráulica	84
Figura 48. Conjunto de potencia hidráulica, catalogo PowerTeam. (team, 2019).....	86
Figura 49. Simulación de cargas de la Recamara de compresión, Software SolidWorks	87
Figura 50. Simulación de la estructura, Software SolidWorks	88
Figura 51. Ensamble prensa hidráulica extractora de manteca de cacao	88
Figura 52. Recamara de compresión y modelo.....	89
Figura 53. Tapas de filtrado - Subsistema vastago – embolo (piston).....	90
Figura 54. Subconjunto Pistón.	90
Figura 55. Subconjuntos. recamara de compresión.	91
Figura 56. Ensamble subconjunto recamara de compresión.....	91
Figura 57. Licor de cacao.....	92
Figura 58. Proceso de fundición del licor de cacao.	92
Figura 59. Montaje de los filtros dentro de la recamara de compresión.....	93
Figura 60. Vertimiento del licor fundido	93
Figura 61. Llenado final de licor fundido	93
Figura 62. Cerrado de los filtros.	94
Figura 63. Cerrado de la recamara de compresión.	94
Figura 64. Montage de la recamara de compresión sobre el recipiente de recolección.....	95

Figura 65. Montaje de la recamara de compresión en la prensa hidráulica 95

Figura 66. Barómetro de la prensa hidráulica 95

Figura 67. Compresión total de recamara 95

Figura 68. Extracción de la recamara de compresión del recipiente de recolección 96

Figura 69. Desmontaje del pisto de la recamara de compresión..... 96

Figura 70. Residuo de la Extracción de la torta de cacao 97

Lista de Anexos

	Pág.
ANEXO A. Manual de operación para prensa hidráulica.....	105
ANEXO B. Conjuntos de bomba hidráulica.....	112
ANEXO C. Planos prensa hidráulica para manteca de cacao.....	116

GLOSARIO

- A_{cil} : Área de la sección transversal del cilindro, en metros cuadrados.
- C_c = carga critica del vástago.
- C_Y = centroide en Y
- C_x = centroide en X
- D_{centro} = distancia de la carga ejercia de 50 tn
- $D_{densidad}$ = densidad del licor de cacao.
- D_{cil} : Diámetro de la sección transversal del cilindro, en metros.
- $D_{externo}$ = diámetro externo del cilindro de compresión.
- $D_{interno}$ = diámetro interno del cilindro de compresión.
- D_{medio} = diámetro medio del cilindro de compresión.
- $D_{vástago}$ = diámetro del vástago.
- F : Fuerza del pistón sobre la masa del licor de cacao, en newtons.
- F_X = fuerza del perno en el eje X
- F_Y = fuerza del perno en el eje Y
- F_{Ytotal} = fuerza total del perno en el eje Y
- $F_{resultante}$ = fuerza resultante perno
- H_{altura} : Altura de la sección del cilindro que almacenara el licor de cacao, [m]
- $I_{inercia}$ = inercia del vástago
- K =factor de fijación de los extremos
- L_v = longitud del vástago.
- L_e =longitud de efectiva, teniendo en cuenta la manera de fijar los extremos

- $m_{\text{licorcacao}}$ = masa de licor de cacao.
- M_{resul} = momento que resiste el conjunto de perno
- N = factor de seguridad.
- N_p = Numero de perno a usar
- $P_{\text{cargadecorte}} = R1$ "Fuerza resultante"
- ρ_{densidad} : Densidad del licor de cacao: $1080 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
- P_{max} = presión máxima requerida dentro de la recamara de compresión.
- P_{perno} = carga por perno
- P : Presión dentro del recipiente, en pascales.
- r = radio de giro mínimo de la sección transversal de la columna.
- r_d = Distancia radial
- SR = esbeltes del vástago
- S_y = esfuerzo de fluencia del material.
- σ (Esfuerzo longitudinal) = Esfuerzo longitudinal del cilindro de compresión.
- T espesor = espesor del cilindro de compresión.
- V_{volumen} = Volumen máximo con respecto a los 3 kilogramos de licor de cacao y su densidad.
- $\sum r^2$ = suma de los cuadrados de todas las distancia radiales
- $\vartheta_{\text{volumen}}$: Volumen que ocupa la capacidad másica, en metros cúbicos.

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA REALIZAR EXTRACCIÓN DE MANTECA DE CACAO A PARTIR DEL LICOR DE CACAO*

AUTORES: Miguel Sneider Grass Plata y Edwin Andrés Vera Parra**

PALABRAS CLAVE: Prensa hidráulica, Manteca de cacao, Licor de cacao, Diseño, torta de cacao, compresión, calentamiento, filtrado, micropartícula.

DESCRIPCIÓN:

El territorio de Santander presenta el mayor porcentaje de producción de manteca de cacao a nivel nacional, no obstante, no cuenta con la tecnología para competir en el procesamiento del cacao en cuanto a productos fino altamente comerciales a nivel mundial, razón principal para el desarrollo de alternativas que permitan a los cacaoteros nacionales expandir sus productos he impulsar el sector cacaotero del país.

Para el diseño de una prensa hidráulica de extracción de manteca de cacao, se requirió de la construcción de un modelo previo de bajas capacidades másicas para la realización de pruebas de compresión y separación de la manteca de la torta de cacao para validar el diseño del prototipo planteado, debido a que esta clase de equipos son altamente costos y es la razón por la cual a nivel nacional no se ha investigado mucho, dando lugar a la importancia de la tesis.

Lo primero que se tuvo que realizar fue la construcción de la recamara de compresión y el diseño a detalle de cada una de sus piezas, debido a que este subconjunto de la prensa es la más crítica al ser la parte que genera la separación de la manteca de cacao de la parte solida denominada torta de cacao, estos productos son los que se buscan obtener en este proceso de manufactura del cacao, materia prima que posteriormente pasara a ser usada en las industrias farmacéuticas, de belleza y alimentarias.

Al final, se construyó el modelo y en el proceso de extracción se obtuvo una separación considerable de manteca y torta de cacao, sin embargo, se presentaron algunas impurezas que lograron atravesar los filtros usados, por lo que se sugiere como aspecto critico el uso de las mallas recomendadas para lograr la captación de todo el particulado.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Ricardo Alfonso Jaimes Rolón

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A HYDRAULIC PRESS TO PERFORM COCOA BUTTER
EXTRACTION FROM COCOA LIQUOR *

AUTHORS: Miguel Sneider Grass Plata y Edwin Andrés Vera Parra**

KEYWORDS: Hydraulic press, Cocoa butter, Cocoa liquor, Design, Cocoa cake, Compression, Heating, Filtration, Microparticle.

DESCRIPTION:

The Santander (Colombia) territory has the national highest percentage of cocoa butter production; however, it does not exist the technology to compete in cocoa processing, talking in terms of fine, highly commercial products worldwide, the main reason for developing alternatives. Allowing national cocoa growers to expand their products and boost the Colombian cocoa sector.

The design of a hydraulic press for cocoa butter extraction, required the manufacture of a previous model with low mass capacities required to carry out compression and separation tests of the butter from the cocoa cake to validate the prototype design, raised, because this kind of equipment is highly expensive and is the reason because not much has been investigated at the national level, giving the thesis importance.

The first thing was the construction of the compression chamber and the detailed design of each of its pieces, since this subset of the press is the most critical as it is the part that generates the separation the cocoa butter from the solid part called cocoa cake, these products are the ones that are sought to be obtained in this cocoa manufacturing process, a raw material that will later be used in the pharmaceutical, beauty and food industries.

In the end, the model was built and, in the extraction, process a considerable separation of cocoa butter and cake was obtained, however, some impurities were present that managed to pass through the used filters, for which the use of the recommended meshes to capture all the particulate.

* Degree Work

** Faculty of Physics and Mechanical. School of Mechanical Engineer. Director: Ricardo Alfonso Jaimes

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según La Organización Internacional del Cacao (ICCO), Colombia es uno de los 10 principales países productores de cacao y a nivel de Latinoamérica ocupa el quinto lugar, la producción de cacao es una actividad que ha aumentado en los últimos años especialmente entre el 2019 y el 2021 como lo expresa la federación nacional de cacaoteros (Fedecacao), “al comparar con el año cacaotero anterior (2019-2020), se presentó un aumento del 9,2% en la producción, registrando 64.281 toneladas” (Fedecacao, 2020), por otra parte el ministerio de agricultura “resalto los buenos resultados de las exportaciones de cacao, que reportan un crecimiento de las ventas externas del grano y preparaciones, las cuales crecieron en 12,8%, con ventas de USD 91,8 millones de enero a septiembre de 2021” (Minagricultura, 2021). Este incremento genera expectativas sobre el aporte que hace el país a este sector, refleja la necesidad de inversión y desarrollo al sector agrícola.

A nivel nacional el departamento de Santander encabeza la lista de los principales productores siendo el mayor productor de cacao en el país con 26.551 toneladas en el 2020 como lo expresa el Ministerios de agricultura y desarrollo, “Santander es el principal productor de cacao a nivel nacional, con una participación del 42% del total de la producción, seguido por Antioquia con una participación del 9%, Arauca y Huila 8%” (Minagricultura, 2020).

En la región existen más de 17 mil familias cacaoteras en los 40 municipios donde se siembra el grano. El Carmen del Chucuri, San Vicente del Chucurí, Landázuri, Rionegro y Lebrija son los mayores productores. Actualmente existen 70 emprendimientos y asociaciones transformadoras de cacao las cuales se han convertido en el proyecto de vida de muchas de estas familias (siempre Santander, 2020).

En Colombia la producción y procesamiento del cacao se encuentra atrasado con respecto a otros países productores tales como Costa De Marfil, Ghana, principales exportadores en el mundo o países latinoamericanos como Brasil y México, los cuales han logrado sus posicionamientos en el mercado por mejores inversiones en tecnología e investigaciones permitiendo mejorar los métodos de procesamiento del cacao y sus derivados, sustituyendo las técnicas convencionales y artesanales que aún se manejan en Colombia.

En la industria del cacao los procesos más desarrollados son los sistemas de prensado y molienda los cuales permiten la obtención de la pasta de cacao también llamada licor de cacao, manteca de cacao y cacao en polvo, el cual sirve como base para productos del sector salud, cosméticos y alimenticios.

Colombia a pesar de contar con una de las mejores condiciones para el cultivo de cacao en el mundo y particularmente las tierras santandereanas, al ser los principales productores de cacao en el país, la producción de los derivados del cacao ha presentado un crecimiento leve por lo que resulta importante la realización de estudios en métodos modernos y efectivos que permitan optimizar el proceso de extracción de la manteca de cacao garantizando las mejores cualidades en cuanto a reología, color, aroma y sabor, impulsando de esta forma el mercado agropecuario el cual posee un gran potencial económico y laboral para el país.

Por lo tanto, se plantea el diseño de una prensa hidráulica extractora de manteca de cacao que sea eficiente, segura y capaz de procesar 2 kg a 3 kg de licor de cacao. Para lograr esto, se deben considerar factores como la capacidad de la prensa, la fuerza de presión necesaria para extraer la manteca de cacao, el tipo de material y otros factores, la facilidad de uso y mantenimiento, de esta forma contribuir al crecimiento de este sector.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Diseñar y construir un modelo funcional a escala de prensa hidráulica para la extracción de la manteca de cacao a partir del licor de cacao de forma eficiente, a bajo costos de fabricación y de fácil operación, sin afectar la calidad del producto según la norma NTC 574.

1.2 Objetivos específicos

- Diseñar una prensa hidráulica para la extracción de la manteca de cacao a partir de licor de cacao cumpliendo los requisitos mínimos de calidad según la norma NTC 574 y parámetros iniciales de capacidad másica entre 2 kg a 3 kg, presión de 100 a 450 bares y tiempo de trabajo de 10 a 15 minutos.
- Construir el modelo funcional a escala de la prensa hidráulica propuesta que trabaje con una capacidad másica de 0.3 a 0.5 kg de licor de cacao y fuerza de 10 a 50 toneladas, para validar el concepto de funcionamiento del sistema y generar un patrón de tendencia que permita estimar el funcionamiento de la prensa diseñada del ítem anterior.
- Analizar las muestras obtenidas de la prensa modelo para validar la calidad de la manteca de cacao según la norma NTC 574.
- Realizar un análisis de costo del diseño propuesto y evaluar la factibilidad económica de fabricación.
- Elaborar un manual de uso y cuidado didáctico para facilitar el manejo adecuado de la prensa hidráulica.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La importancia de este proyecto para la ingeniería mecánica es que permite mejorar e implementar procesos más modernos y efectivos en la producción de aceite de cacao ayudando a expandir la calidad de los productos colombianos a base de este, e incrementado así su competitividad y su aumento en la exportación con respecto a los países latinos más predominantes en este mercado como lo son Brasil y Ecuador.

Con respecto al impacto ambiental el desarrollo de métodos alternativos y modernos son una necesidad debido al aumento de la deforestación que se ha generado en los últimos años en el país debido a las demandas de recursos naturales arrastrando a los nativos de las zonas afectadas a participar en estas actividades por lo que ofrecer otras alternativas más eficientes, lucrativas y menos dañinas para los ecosistemas resultan una necesidad que deben ser tomadas en cuenta desde las soluciones que puede ofrecer la ingeniería mecánica.

En cuanto al impacto social el diseño de equipos para el procesamiento de cacao, permiten que los productores de cacao puedan optar por incursionar en otros mercados relacionados al cacao generando expansión y nuevos empleos para las zonas cacaoteras, aprovechando las condiciones climáticas y la calidad de los suelos podrán llevar a competir en mercados extranjeros mejorando la calidad de vida de los productores y reactivando la economía del país.

Concluyendo con lo dicho anterior mente, la creación de equipos procesamiento de cacao ayudan a la expansión del mercado del cacao en las zonas santandereanas generando mayor empleo e impulsando la economía de la región de Bucaramanga.

3. ALCANCE

El proceso de obtención de manteca de cacao está sujeto a varios equipos como lo son: tostadora, descascarilladora, molino de bolas o prensadora, de los cuales se eligió diseñar el equipo de prensado, para ello se diseñará una prensa hidráulica vertical que estará sujeta a la construcción de un modelo funcional a escala, que permitirá estimar las dimensiones y funcionamiento de un equipo de mayores capacidades buscando mejorar la fase de obtención de manteca de cacao. El diseño de la prensa hidráulica busca optimizar el procesamiento del cacao para así ayudar a los cacaoteros del departamento de Santander en la calidad de sus productos, a su vez disminuir costos de manufactura y operación de equipos permitiendo competir con economía y calidad en el mercado.

4. MARCO TEÓRICO

En 1828, Van Houten de Holanda invento una prensa de cacao, que eliminaba una parte de la grasa de cacao dejando un polvo de cacao con un 23% de grasa, haciendo más saludable y apetecido para el consumo humano.

Los suizos también han tenido una estrecha asociación con el chocolate. Chocosuisse, la Asociación de Fabricantes de Chocolate Suizos, que se estableció en 1945, en la publicación Chocologie traza la historia y el desarrollo del chocolate a través de los tiempos. (Afoakwa, 2010)

4.1 Antecedentes

Las siguientes investigaciones se tomarán como aportes a esta investigación con el objetivo de optimizar el diseño de esta.

4.1.1 Antecedentes a nivel internacional

4.1.1.1 **Diseño y construcción de una máquina para la extracción de aceite de cacao.** (Manobanda,2016). El objetivo de este proyecto fue diseñar y construir una máquina para la extracción de aceite de cacao. Para esta investigación se analizaron 4 alternativas que cumplieran con los requerimientos del cliente, los cuales eran máquina de bajo consumo eléctrico, obtención de la mayor cantidad de aceite, fácil mantenimiento, segura, fácil de operar, producto que cumpliera con las normas alimenticias y de bajo costo.

La alternativa que cumplió con los parámetros fue la construcción de una maquina extractora de cacao compuesta por un extrusor de tornillo simple, con tolva selección circular, validador de frecuencia, transmisión por ruedas dentadas y un controlador de temperatura. Posteriormente realizaron los diferentes cálculos matemáticos, procedieron a elaborar los planos de cada pieza de la máquina y desarrollaron el diseño CAD.

En conclusión, la máquina que diseñaron y construyeron para le extracción de aceite de cacao, permitió obtener aceite de granos previamente triturados, la máquina tuvo la ventaja de variar la velocidad y temperatura, permitiendo obtener los parámetros óptimos de funcionamiento, además determinaron la capacidad de producción de la máquina donde obtuvieron 0,3 kg de aceite de cacao a partir de 2 kg de materia prima, en un tiempo de 20 min, esto les dio una capacidad de producción de aproximadamente 5 [kg/h], siendo un 50% menos de la producción planteada de 10 [kg/h] .

El anterior proyecto aporta unos datos detallados para el procesamiento de manteca de cacao, la alternativa usada logro obtener manteca de cacao, pero su efectividad fue del 50% respecto al requerimiento, da a entender que la alternativa planteada no es apta para cumplir nuestros requerimientos.

4.1.1.2 Extracción de los aromas de cacao por fluidos supercríticos y su incorporación en una película para su uso en alimentos (Guerrero, 2018). El objetivo de esta investigación fue extraer los compuestos aromáticos de cacao por fluidos supercríticos incorporándolos en la elaboración de una película para uso alimenticio.

Para la obtención de extracto de manteca de cacao y aromas lo realizaron por extracción con fluidos supercríticos, emplearon un equipo (THARWATER, Modelo-SFE500), utilizando CO₂ (INFRA, pureza mínima de 99%) con flujo de 15 [g/min] durante 4 h. Donde evaluaron, 2 parámetros de extracción a tres niveles; presión (200, 335 y 470 bar) y temperatura (35, 50 y 65 °C).

Como resultados encontraron que las extracciones de la semilla de cacao criollo realizadas con una presión elevada (470 bar) eran favorables para la eficiencia de recuperación, de los 27.79 g de manteca de cacao contenidos en la muestra, obtuvieron 13.85 ± 1.90 g, este resultado lo lograron al evaluar la semilla a 470 bar y 65 °C logrando así una mayor eficiencia de recuperación, de manera contraria al trabajarse con una presión inferior (200 bar), porque con esta se obtuvo una menor cantidad del extracto (0.4 ± 0.00 g), aun con una temperatura elevada.

En la investigación concluyeron que para la obtención de manteca de cacao por extracción con fluidos supercríticos utilizando CO₂ como solvente, se deben trabajar en altas presiones (470 bar) para obtener una mayor eficiencia de recuperación.

Este proyecto sirvió para observar otro método de extracción de manteca de cacao, además se identificó algunos parámetros que pueden ser útiles a la hora de ejecución del proyecto.

4.2 Referentes teóricos

A continuación, se presentan los principales conceptos y procesos que se desarrollaron con el tiempo para la obtención de la manteca de cacao, muchos son procesos que se desarrollaron a finales del siglo pasado y que aún son muy utilizados para el proceso de obtención.

4.2.1 Cacaos

“Los granos de cacao son las semillas del árbol *Theobroma cacao*. Cada semilla consta de dos cotiledones y del pequeño embrión de la planta, todos cubiertos por la piel (cáscara). El 30 a 50% del peso seco del grano es grasa, conocida como manteca de cacao. La cantidad de grasa y sus propiedades, tales como su punto de fusión y dureza, dependen de la variedad de cacao y de las condiciones ambientales donde creció.” (ALVARADO, DUVILLE, 2020).

4.2.1.1 Derivado del cacao. Algunos de los subproductos del cacao más producidos son:

4.2.1.1.1 Masa, pasta o licor de cacao. Es la pasta producida después de la molienda de los granos ya fermentados sin ser refinado y es la principal materia prima para la fabricación del chocolate.

4.2.1.1.2 Manteca de cacao. Es la grasa que se obtiene del prensado la cual contiene un sabor característico, a temperatura ambiente se vuelve una masa blanca sólida, es la única parte del cacao usada para producir el chocolate blanco.

4.2.1.1.3 Cacao en polvo (cocoa). Es la torta que queda después de extraer la manteca del cacao, por lo cual su contenido de grasa es bajo y se utiliza como ingrediente para hacer bebidas de chocolate.

4.2.2 Proceso para la obtención de manteca de cacao

A continuación, se presentan y explica cada uno de los procesos que requiere la transformación de la almendra de cacao desde los más básicos como la recolección del fruto hasta su proceso final para consumo y usos directo.

Figura 1.

Proceso extracción de la manteca de cacao



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

4.2.2.1 **Molienda.** Según (Beckett,2020) en este proceso de molido del grano de cacao tiene dos objetivos, el primero es hacer que las partículas de cacao sean lo suficientemente pequeñas como para fabricar chocolate, hay una molturación posterior en el proceso de fabricación del chocolate, de modo que no es necesario realizar una molienda muy fina en esta etapa.

La segunda razón, de mayor importancia, es la de extraer la mayor cantidad posible de grasa del interior de las células del cotiledón. Es necesario moler el grano de un tamaño de partícula máximo de aproximadamente medio centímetro hasta menos de 30 micras. Esto implica que se debe reducir el tamaño de las partículas unas 100 veces. La mayoría de las maquinarias de molturación pueden trabajar de un modo eficiente si la reducción en el tamaño es de unas 10 veces,

de modo que al menos son necesarias dos etapas de molturación. Además, muchos molinos trabajan mejor con materiales duros, mientras que otros sólo operan bien con líquidos. Esto significa que normalmente se muele el cacao dos veces, inicialmente con una molturación de impacto, que funde la grasa y con la que se obtiene un líquido que contiene partículas grandes de un diámetro de varios cientos de micras. (Beckett, 2000).

4.2.2.2 Prensado. La masa o licor de cacao pasa luego a prensar; en esta etapa es cuando se separa la grasa de la masa o licor hasta el porcentaje deseado y el residuo que se forma durante este proceso es lo que constituye la torta de cacao. Para producir la torta con diversas proporciones de grasa, el fabricante controla la cantidad de manteca que se extrae del licor, la torta se pulveriza con la finalidad de preparar el polvo de cacao, el cual tiene un uso de muy amplio en la industria alimentaria. (Escobar, 2013).

Según (Beckett, 2000) a la prensa entra la pasta de cacao caliente al compartimento que a continuación es presionada por un émbolo de acero que trabaja a una presión de entre 40-50 MPa y esta presión es capaz de hacer pasar más de la mitad a través del tamiz, desde donde fluye por una tubería hasta un control de peso. La presión se aplica lentamente al principio, para prevenir la formación de capas duras que evitasen la salida de más grasa. Al operario le es posible aumentar la presión hasta que se haya obtenido la cantidad necesaria de manteca de cacao, esto deja un material duro en los compartimentos que contiene entre un 8 y un 24% de grasa, para obtener un porcentaje de aproximadamente un 10-12% contenido de grasa de la torta, la presión debe aumentarse a más de 500 bar y mantenerse durante aproximadamente diez minutos.

4.2.3 Propiedades de la manteca y torta de cacao

Para establecer las propiedades adecuadas para la comercialización de la manteca de cacao se consultó la norma Icontec NTC 574, esta norma establece los requisitos fisicoquímicos y

microbiológicos que debe cumplir la manteca de cacao empleada como ingrediente en la fabricación de chocolate y productos de chocolate. La manteca de cacao debe cumplir con los requisitos fisicoquímicos de la Tabla 1.

Tabla 1.

Requisitos fisicoquímicos para la manteca de cacao.

Requisitos	Mínimo	Máximo
Materia insaponificable, % en fracción de masa en base seca		0,7*
Acidez expresada como ácido oleico, % en fracción de masa en base seca	-	1,75
Humedad % en fracción de masa	--	0,1
Punto de fusión (°C)	29,0	34,0
Índice de peróxido (meq O ₂ /kg)		1,0
Índice de Yodo	32	41
Índice de refracción	1,4530	1,4578

NOTA Los resultados obtenidos para el contenido de materia insaponificable y acidez, se expresan en fracción de masa según el Sistema Internacional de Unidades, el cuál dice:

"Fracción de masa de B, W_B: Esta cantidad se expresa frecuentemente en por ciento, %.

La notación "% (m/m)" no deberá usarse".

Factor de conversión 1 %= 0,01

* En el caso de manteca de cacao obtenida por prensado no debe ser superior a 0,35 % en fracción de masa en base seca.

Nota. Tomado de la Norma Técnica Colombiana NTC 574 (p.3)

Además, debe cumplir con los requisitos microbiológicos indicados en la Tabla 2.

Tabla 2.

Requisitos microbiológicos para la manteca de cacao.

Microorganismo	n	c	m	M
Recuento de microorganismos aerobios mesófilos, UFC/g	3	1	10 000	15 000
Recuento de coliformes en placa, UFC/g	3	1	< 10	20
Recuento de <i>E. Coli</i> , UFC/g	3	0	<10	-
Recuento de Mohos y Levaduras, UFC/g	3	1	100	200
Detección de <i>Salmonella spp</i> / 25g	5	0	0	-

en donde

- n = número de muestras por examinar.
- m = índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad.
- M = índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad.
- c = número máximo de muestras permisibles con resultados entre m y M.

Nota. Tomado de la Norma Técnica Colombiana NTC 574 (p.3)

4.2.4 Métodos de prensado del licor de cacao

A continuación, se presenta los tres principales métodos de prensado para la extracción de manteca de cacao.

4.2.4.1 Prensado vertical. Las prensas verticales fue el primer equipo usado en este proceso, está compuesta por macetas de prensa generalmente cuatro o seis, dispuestas una encima de la otra. Cada olla consistía en un cilindro poco profundo de acero pesado perforado con muchos agujeros pequeños en la base, sobre esta base se colocó una almohadilla de filtro generalmente tela, y luego se llenó el recipiente con licor y se colocó una almohadilla de filtro adicional en la parte superior. Luego se aplicó un ariete sobre cada olla y la mantequilla se exprimió a través de las telas filtrantes en canales alrededor de las ollas y luego en recipientes.

Figura 2.*Prensa vertical*

Nota. Tomado de Catalogo DELANI prensa creamy 35

Figura 3.*Cámara de extracción*

Nota. Tomado de Catalogo DELANI prensa creamy 35

La presión aplicada en estas prensas fue de hasta 6,000[psi] y las prensas más grandes podían cargar 250 libras de licor. El control del contenido de grasa se basó principalmente en el tiempo y se requirieron aproximadamente 15 minutos para reducir la torta al 22 por ciento de grasa y de 30 minutos al 14 por ciento. Por lo general, obtener un contenido de grasa más bajo en estas prensas no era confiable ni económico. En algunos casos se utilizó el control midiendo el volumen de la grasa extraída, pero no se pudo lograr la precisión. (Afoakwa, 2010)

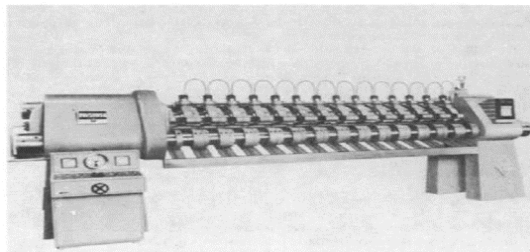
4.2.4.2 Prensado horizontal. La necesidad de optimizar este proceso llevo a la creación de la actual prensa horizontal, dejando en obsolescencia la prensa vertical. Las prensas modernas están diseñadas para 12,000[psi], el efecto principal es una mayor velocidad de prensado, pero el rendimiento final de manteca de cacao no aumenta significativamente.

También se puede decir que las prensas más grandes tienen una producción de hasta 3500 lb / h con torta de cacao al 24 por ciento de manteca de cacao. Con un contenido de grasa más bajo, la producción es correspondientemente más baja, y aunque se hacen declaraciones de torta con un contenido de grasa del 8 por ciento, el mínimo normal es del 10 al 12 por ciento con una producción de 1200 a 1600 [lb / h] (Afoakwa, 2010).

El funcionamiento de estas prensas es completamente automático y el contenido final de grasa de la torta de cacao se controla mediante el ciclo de tiempo, el peso de la manteca de cacao y la distancia del recorrido del pistón. Al final del ciclo de presión / tiempo, la dirección del ariete se invierte y las ollas se abren y permiten que las tortas de cacao caigan en un recipiente o en un transportador del que se retiran para molerlas. Con las prensas verticales más antiguas, las tortas tenían que quitarse manualmente y toda la operación en las altas temperaturas de las salas de prensa era muy ardua.

Figura 4.

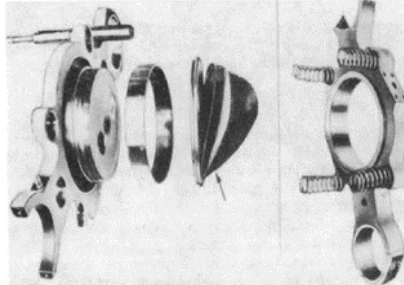
Prensa horizontal POV 540.B2.14



Nota. Tomado de chocolate, cocoa, and confectionery (Minifie, 1989, pag 76)

Figura 5.

Sección de una olla

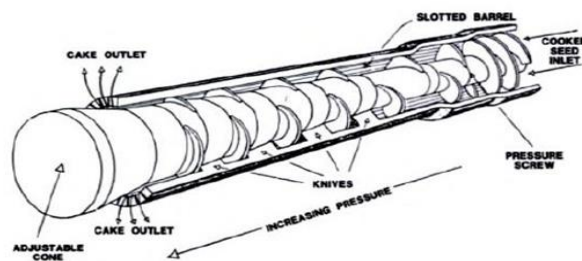


Nota. Tomado de chocolate, cocoa, and confectionery (Minifie, 1989, pag 77)

4.2.4.3 Prensa de tornillo. Para realizar la extracción de la manteca de cacao por medio de una prensa de tornillo o extrusión, se requiere de grandes cantidades de materia (licor de cacao), el principio del funcionamiento de la prensa induce calor sobre el material generando altas temperaturas y provocando que gran parte del material sobrante (torta de cacao) no pueda ser aprovechada ya que al que marce pierde sus propiedades de uso, por lo que este método de extracción de manteca solo se realiza de forma experimental al no ser viable para una producción a gran escala.

Figura 6.

Prensado por extrusión



Nota. Tomado de chocolate, cocoa, and confectionery (Minifie, 1989, pag 80)

4.2.5 Condiciones de operación

Para la extracción de la manteca de cacao se requiere que el licor de cacao cuente con las siguientes características tales como la temperatura, humedad, tamaño de partícula entre otras.

4.2.5.1 Temperatura del licor. En la práctica moderna, los mejores resultados se obtienen entre 95 y 105 ° C (203 a 221° F). Las temperaturas más altas dan como resultado una manteca de cacao inferior, de sabor fuerte, sin ninguna mejora en el rendimiento. (Minifie, 1989, pag 78)

4.2.5.2 Contenido de humedad. El contenido de humedad del licor es crítico. La mayoría de los procesadores operan en un rango del 1 al 1,5 por ciento, pero un fabricante de prensas recomienda el 0,8 por ciento. Según Reade (1983), el óptimo puede ser tan alto como 1.8 por ciento, lo que da como resultado rendimientos máximos de manteca de cacao. Pero es importante reconocer que pueden surgir errores en las determinaciones de humedad; un método simple generalmente recomendado es la destilación de tolueno (método de Dean y Stark).

El contenido de humedad y algunos de los otros factores mencionados aquí están interrelacionados, incluida la forma en que la humedad se dispersa en el licor. (Minifie, 1989, pag 78)

4.2.5.3 Tamaño de partícula. Con los métodos modernos de molienda de licor, particularmente cuando la molienda final es con un molino de perlas, es probable que se utilicen licores con partículas ultrafinas. Se han registrado resultados de pruebas de tamizado del 98 por ciento a través de un tamiz de 400 mallas, y es casi seguro que tales licores causen problemas de presión, con una acumulación de contrapresión y cegamiento de los tamices.

Estos licores finos son buenos para la fabricación de chocolate o cacao superfino, pero es probable que el prensado sea más eficiente con un licor más grueso, por ejemplo, del 98 al 99 por ciento a través de un tamiz de 200 mallas. (Minifie, 1989, pag 78)

4.2.5.4 **Presiones.** Las prensas más antiguas trabajaban bajo una presión en el filtro de aproximadamente 6,000 [psi], pero las prensas modernas están diseñadas para 12,000[psi], el efecto principal es una mayor velocidad de prensado, pero el rendimiento final de manteca de cacao no aumenta significativamente. (Minifie, 1989, pag 79)

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 Tipo de diseño metodológico

El proyecto actual se clasifica dentro de un diseño basado en modelos, el cual emplea modelos matemáticos y simulaciones para diseñar una prensa hidráulica capaz de obtener características especiales en la manteca de cacao, tales como su reología, color, olor y sabor. Para lograr estos resultados, es necesario hacer pruebas de simulación que permitan establecer las variables de entrada adecuadas para obtener los resultados deseados.

5.2 Fases para el desarrollo de los objetivos del proyecto

Para el proceso de diseño es necesario definir las fases para llegar al correcto desarrollo de sus funciones, las cuales se presentan a continuación:

5.2.1 Fase 1. Determinación de los parámetros iniciales de operación de la prensa hidráulica en el proceso de extracción de manteca de cacao.

Las principales variables para controlar en la prensa hidráulica serán la presión y el tiempo de operación, donde se buscará las condiciones ideales de trabajo para alcanzar los mínimos requerimientos de calidad al momento de prensar el licor de cacao según la norma NTC 574, para

esto se estudiará por separado cada una de las variables, teniendo en cuenta la información investigada que se encuentra detallada en los antecedentes.

5.2.1.1 Selección de licor de cacao. Existen tres tipos de cacao los cuales son: criollos, forasteros amazónicos y trinitarios, según las características identificadas en los antecedentes la variedad de cacao que contiene un alto contenido de grasa es la de tipo forasteros amazónicos.

Estos tres tipos de cacao son la base principal para la obtención de licor de cacao, según (Minifie, 1989), para obtener una buena calidad de manteca de cacao se debe trabajar a una presión y temperatura adecuada para su compresibilidad.

5.2.1.2 Presiones de trabajo. Debido a que el equipo a diseñar será una prensa, la presión se considera la principal variable sujeta a estudio.

El principal objetivo del prensado es extraer el mayor porcentaje de grasa a la torta de cacao, según (Minifie, 1989), en su libro CHOCOLATE, COCOA, AND CONFECTIONERY, a una presión de 6000 [psi] (414 bares) se logra un 78 % de manteca de cacao en 15 minutos de trabajo y para obtener el 86% de manteca se requiere un tiempo de 30 minutos.

Por otra parte (Beckett, 2000) en su investigación encontró que para obtener un porcentaje aproximado del 88% de manteca de cacao, se necesita una presión superior a los 500 bares y durante un tiempo de 10 minutos. Para este proceso de extracción de manteca de cacao se dispone de tres tipos de prensa:

5.2.1.2.1 Prensa vertical. Fue el primer equipo usado (ver figura 2), en este proceso de extracción las presiones van hasta 6000 [psi] (414 bares) y la prensa más grande puede cargar hasta 250 libras de licor.

Por lo general en esta prensa el contenido de grasa extraído es baja y al tratar de obtener un mayor porcentaje de manteca se pierde calidad del producto.

5.2.1.2.2 Prensa horizontal. La necesidad de optimizar este proceso llevo a la creación de la prensa horizontal que están diseñadas para operar presiones hasta de 12,000 [psi] (828 bares), (ver figura 4), además tiene una mayor velocidad de prensado y se logra un buen porcentaje de manteca de cacao. Para una producción de 3500 lb/h de licor de cacao se obtiene 76% de manteca cacao.

5.2.1.2.3 Prensa de extrusión. Esta prensa (ver figura 6), a diferencia de las dos anteriores trabaja variando la velocidad (RPM) del tornillo extrusor, se usa solamente de carácter académico o experimental, ya que sus condiciones de operación son ineficientes debido a su principio de funcionamiento, en el cual el material a prensar debe suministrarse en grandes cantidades de licor para empujar a la zona de extrusión, generando perdidas de material atrapado en el tornillo extrusor al término de una producción además las altas temperaturas generadas por la fricción del material con el equipo provocan que la torta se quemé perdiendo rendimiento y calidad del producto.

5.2.1.3 Temperaturas de funcionamiento. Para obtener una buena eficiencia de manteca de cacao se necesita que el licor de cacao se suministre a una temperatura aproximadamente entre 80 y 110 °C, a mayores temperaturas da como resultado una manteca de cacao inferior, de sabor fuerte y sin ninguna mejora en el rendimiento.

5.2.1.4 Capacidad másica. Para este punto se desarrollaron cálculos en el programa EES licencia educativa tabla 5, para encontrar un rango másico, se usó una presión de 450 bares y para no aumentar el costo del proyecto.

Se seleccionó trabajar a una fuerza de 75 ton arrojando un rango de 2 a 3 kg de licor, Las fórmulas empleadas serán las del concepto de presión (fuerza por área de aplicación) la fórmula

de área, para relacionar la presión con la fuerza, también se usarán la fórmula de densidad y volumen para relacionar el área con la capacidad másica y de esta manera encontrar la dimensión necesaria para las capacidades másicas preestablecidas.

Se usaron las siguientes fórmulas para el cálculo de capacidad másica en el programa EES licencia educativa:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{P} &= 50 \times 10^6 \text{ [pa]} & \rho_{densidad} &= \frac{(M_{masa})}{\vartheta_{volumen}} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \\
 \mathbf{F} &= P \times A \times 0,00010197 \text{ [N]} & \vartheta_{volumen} &= \frac{A_{area}}{H_{altura}} \text{ [m}^3\text{]} \\
 A_{area} &= \frac{(\pi \times D_{diametro}^2)}{4} \text{ [m}^2\text{]} & D_{diametro} &= H_{altura} \times 0,8 \text{ [m]}
 \end{aligned}$$

Descripción de las variables:

- **P**: Presión dentro del recipiente, en pascales.
- **F**: Fuerza del pistón sobre la masa del licor de cacao, en newtons.
- **$\vartheta_{volumen}$** : Volumen que ocupa la capacidad másica, en metros cúbicos.
- **$\rho_{densidad}$** : Densidad del licor de cacao: 1080 [kg/m³]
- **H_{altura}** : Altura de la sección del cilindro que almacenara el licor de cacao, [m]
- **A_{area}** : Área de la sección transversal del cilindro, en metros cuadrados.
- **$D_{diametro}$** : Diámetro de la sección transversal del cilindro, en metros.

En la siguiente tabla es obtenida de las fórmulas anteriores, se varió la altura para obtener una aproximación de las dimensiones de la recamara y su respectiva capacidad másica.

Tabla 3.

Cálculo de la capacidad másica en programa EES licencia educativa

1.20	1	2	3	4	5	6	7
	d _{diametro} [m]	F [Ton]	h _{altura} [m]	m _{masa} [Kg]	P [kg/m ² s ²]	P _{densidadcacao} [kg/m ³]	V _{volumen}
Run 1	0,04	5,766	0,05	0,06786	4,500E+07	1080	0,00006283
Run 2	0,048	8,303	0,06	0,1173	4,500E+07	1080	0,0001086
Run 3	0,056	11,3	0,07	0,1862	4,500E+07	1080	0,0001724
Run 4	0,064	14,76	0,08	0,2779	4,500E+07	1080	0,0002574
Run 5	0,072	18,68	0,09	0,3958	4,500E+07	1080	0,0003664
Run 6	0,08	23,07	0,1	0,5429	4,500E+07	1080	0,0005027
Run 7	0,088	27,91	0,11	0,7226	4,500E+07	1080	0,000669
Run 8	0,096	33,21	0,12	0,9381	4,500E+07	1080	0,0008686
Run 9	0,104	38,98	0,13	1,193	4,500E+07	1080	0,001104
Run 10	0,112	45,21	0,14	1,49	4,500E+07	1080	0,001379
Run 11	0,12	51,9	0,15	1,832	4,500E+07	1080	0,001696
Run 12	0,128	59,05	0,16	2,224	4,500E+07	1080	0,002059
Run 13	0,136	66,66	0,17	2,667	4,500E+07	1080	0,00247
Run 14	0,144	74,73	0,18	3,166	4,500E+07	1080	0,002931
Run 15	0,152	83,26	0,19	3,724	4,500E+07	1080	0,003448

Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

En la tabla anterior se seleccionó los siguientes datos, con base a la capacidad máxima de tonelaje especificada en los objetivos de 75 [ton], el rango de diámetro de la recamara esta entre 128 [mm] a 144 [mm], su altura entre 160 [mm] a 180[mm] y su capacidad másica de 2,224 [kg] a 3,166 [kg].

5.2.1.5 Datos seleccionados de operación. Para nuestro diseño y con la información obtenida de las fuentes bibliográficas se establecieron los siguientes parámetros de operación:

- Presión de trabajo entre 100 y 450 bares
- Tiempo de trabajo entre 10 y 15 minutos
- Capacidad másica de licor de cacao entre 2 a 3 kg.

Para validar el proyecto se construirá un modelo funcional a escala, sabiendo que el laboratorio de potencia de la universidad es académico no cuenta con un equipo que genere una

fuerza de 75 toneladas, y además para reducir los costos de construcción se decidió trabajar a una capacidad másica entre 0,3 y 0,5 kg, según los cálculos en la tabla 3.

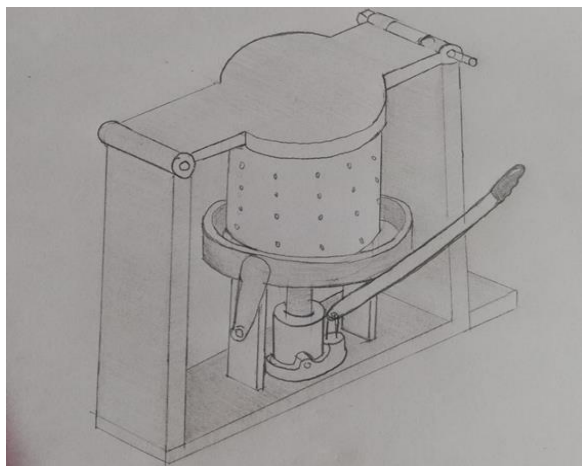
5.2.2 Fase 2. Propuesta de diseño conceptual para la prensa hidráulica

Se propone tres modelos de prensado diferente: prensado vertical, horizontal, y de tornillo o extrusión.

5.2.2.1 Propuesta modelo prensa vertical. En esta prensa se muestran dos vistas la isométrica, una seccionada, en la vista seccionada se muestran el sentido del movimiento y su funcionamiento, debido a la limitación del presupuesto se propone como fuente de potencia un gato hidráulico de 32 toneladas. En este modelo, el filtrado se ara sobre las caras laterales del cilindro deposito como se observa en la figura 7.

Figura 7.

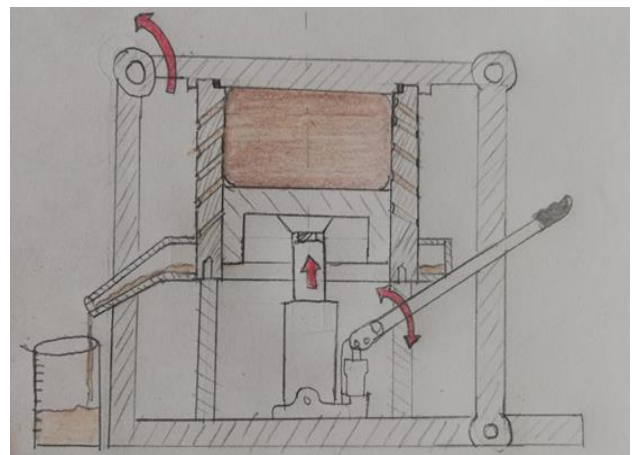
Vista isométrica del prototipo de la prensa horizontal



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Figura 8.

Vista frontal del prototipo de la prensa horizontal

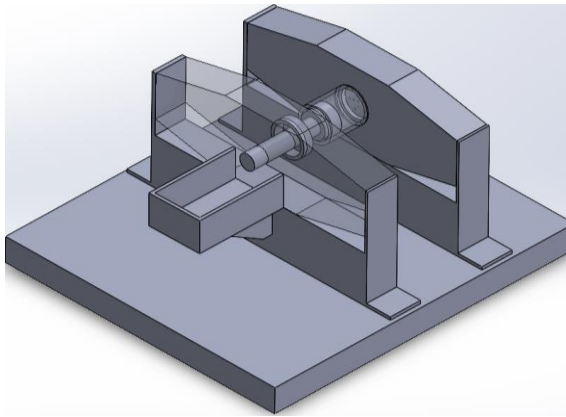


Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

5.2.2.2 Propuesta modelo prensa horizontal. En este modelo de prensado se propone un disco en la cara lateral donde se encontrarán los filtros para extraer la manteca de cacao de una forma limpia.

Figura 9.

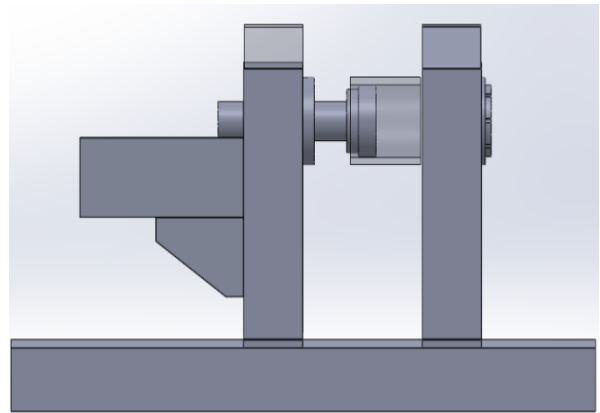
Vista isométrica del prototipo de la prensa horizontal



Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

Figura 10.

Vista frontal del prototipo de la prensa horizontal

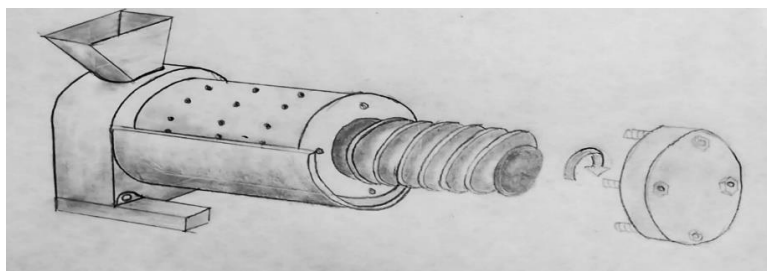


Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

5.2.2.3 Propuesta modelo prensa por extrusión. Este modelo de extracción de manteca no es tan confiable y práctico para la industria.

Figura 11.

Prototipo de prensa de tornillo extrusor



Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

Alternativas a escoger por medio del cuadro de Pugh, la puntuación se realiza de 0 a 3 donde 0 es nulo y 3 es la mejor condición, la puntuación se realiza a criterio según lo investigado anteriormente.

Tabla 4.

Evaluación de alternativas mediante método PUGH

Criterios	Diseño 1 (Prensa vertical)	Diseño 2 (Prensa horizontal)	Diseño 3 (Prensa de tornillo)
Mayor flujo masico	1	2	3
Menor costos de construcción	3	1	1
facilidad de operatividad	3	2	1
Calidad del producto	2	3	0
Facilidad de mantenimiento	3	2	1
Total, de puntuación	12	10	6

Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

Concluyendo con la tabla de Pugh, el diseño de la prensa vertical resulta más conveniente con un puntaje de 12, el horizontal como segunda opción con un puntaje de 10 y el de tornillo como la opción menos viable con 6 puntos, por lo que se elige la prensa vertical para el trabajo.

5.2.3 Fase 3. Diseño de detalle de la prensa hidráulica

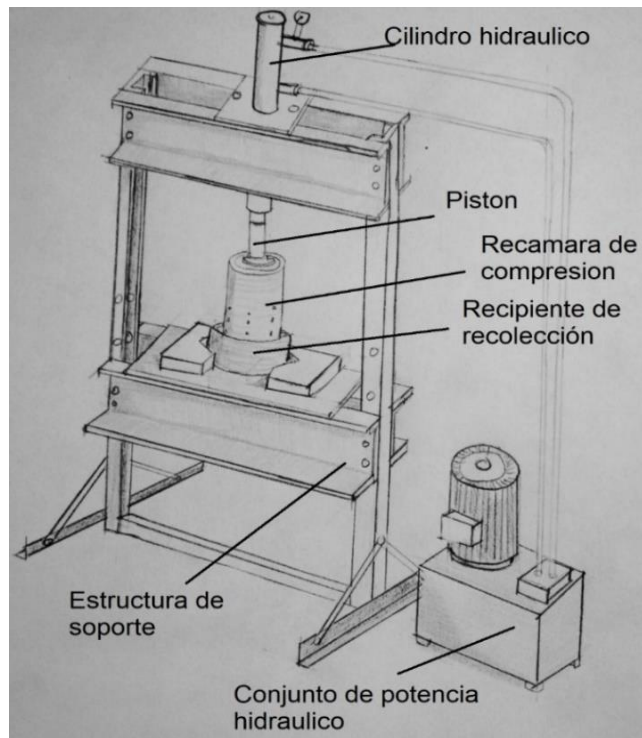
En esta fase se realizarán todos los cálculos necesarios para construir la prensa, también se elaborará el diseño hidráulico, las memorias de diseño y costo de fabricación.

5.2.3.1 Diseño de detalle del prototipo de prensado del licor de cacao. Diseño conceptual de la prensa y la recamara de compresión del prototipo.

En la siguiente figura 12 se presenta un modelo representativo del del diseño de la prensa a diseñar, hecho en SolidWorks el cual muestra todas los equipos y piezas requeridos para el funcionamiento de la prensa.

Figura 12.

Prensa hidráulica representativa

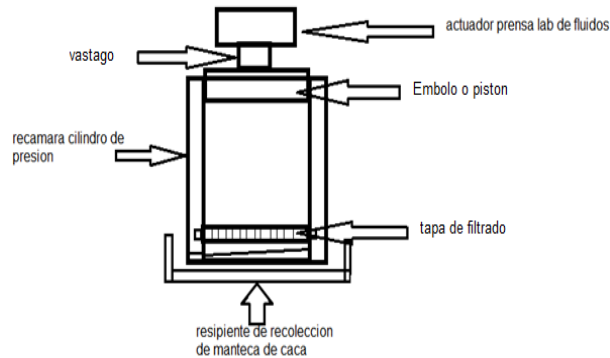


Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

En la siguiente figura 13 se muestra el diseño conceptual de la recamara de compresión y sus respectivas piezas a construir, cabe resaltar que es una propuesta sujeta a cambio de mejora en el proceso de extracción de la manteca de cacao.

Figura 13.

Propuesta diseño conceptual recamara de compresión



Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

5.2.3.1.1 Recamara de compresión. Se volvieron a recalcular las dimensiones de la recamara de presión debido a que la prensa seleccionada solo alcanza una fuerza de compresión máxima de 50 toneladas, esto se hizo teniendo presente los mismos rangos de volúmenes hallados en la tabla 6 de 0,002059 a 0,002931 [kg/m²], variando el diámetro interno y la altura del cilindro para una masa de licor cacao de 3 kg. Además, Se tuvo en cuenta que la presión requerida de extracción es de 45 Mpa según las fuentes bibliográficas y la densidad del licor cacao de 1,08 [kg/lit], Para realizar los cálculos se usó el software EES con el cual variamos la altura de la recamara, para seleccionar un diámetro adecuado y así mismo la fuerza requerida para el prensado de no mayor a 50 toneladas.

Datos del licor cacao:

- $m_{licorcacao} = 3 [Kg]$
- $D_{densidad} = 1,08 \left[\frac{Kg}{lt} \right]$
- $\vartheta_{volumen} = \frac{m_{licorcacao}}{D_{densidad}} *$
- $\frac{1}{1000} * 1 \left[\frac{m^3}{lt} \right]$
- $\vartheta_{volumen} = \vartheta_1$

Datos de trabajo:

- $P_{Max} = 45 * 10^6 [Pa]$

Formulas:

- $\vartheta_1 = \frac{d^2 * \pi}{4} * l_1$

- $P_{Max} = \frac{f_{max}}{A_{area}}$

- $A_{area} = \frac{d^2 * \pi}{4}$

- $f_{max} = f_g * 1000 * 9,81 [N]$

Simbología:

- $m_{licorcacao}$ = más de licor de cacao.
- $D_{densidad}$ = densidad del licor de cacao.
- $V_{volumen}$ = Volumen máximo con respecto a los 3 kilogramos de licor de cacao y su densidad.
- P_{max} = presión máxima requerida dentro de la recamara de compresión.
- V_1 = Volumen requerido de la recamara para almacenar los 3 kg máximos de licor de cacao con respecto a las dimensiones geométricas internas de la recamara de compresión

En la tabla 5 tendremos los resultados de las fórmulas del cálculo de la recamara de compresión anteriores, en esta tabla variamos la altura escalarmente en 10 [mm] para seleccionar el diámetro de la recamara, buscando mantener el volumen requerido para los 3 kg de licor de cacao y una fuerza de compresión por debajo de las 50 toneladas, esto para facilitar el prensado en caso de que la prensa seleccionada no logre llegar a las 50 toneladas.

Tabla 5.

Cálculos Diámetro interno y longitud recamara de compresión en Software EES licencia educativa

1.29	L1	D	vol	Fg [ton]	Fmax	Pmax
Run 1	0,2	0,133	0,002778	63,71	625000	4,500E+07
Run 2	0,21	0,1298	0,002778	60,68	595238	4,500E+07
Run 3	0,22	0,1268	0,002778	57,92	568182	4,500E+07
Run 4	0,23	0,124	0,002778	55,4	543478	4,500E+07
Run 5	0,24	0,1214	0,002778	53,09	520833	4,500E+07
Run 6	0,25	0,1189	0,002778	50,97	500000	4,500E+07
Run 7	0,26	0,1166	0,002778	49,01	480769	4,500E+07
Run 8	0,27	0,1145	0,002778	47,19	462963	4,500E+07
Run 9	0,28	0,1124	0,002778	45,51	446429	4,500E+07
Run 10	0,29	0,1104	0,002778	43,94	431034	4,500E+07
Run 11	0,3	0,1086	0,002778	42,47	416667	4,500E+07
Run 12	0,31	0,1068	0,002778	41,1	403226	4,500E+07
Run 13	0,32	0,1051	0,002778	39,82	390625	4,500E+07
Run 14	0,33	0,1035	0,002778	38,61	378788	4,500E+07
Run 15	0,34	0,102	0,002778	37,48	367647	4,500E+07
Run 16	0,35	0,1005	0,002778	36,41	357143	4,500E+07
Run 17	0,36	0,09912	0,002778	35,39	347222	4,500E+07

Nota. Tabla elabora por los autores de proyecto

De la tabla 5 se selecciona una longitud del cilindro de 330 [mm] y se obtuvo un diámetro interno de 103,5 [mm] y una fuerza de compresión de 38,61 toneladas ya que se encuentra por debajo del rango máximo de compresión ofrecido por la prensa Instron del laboratorio de mecánica que es de 50 toneladas.

Para encontrar las dimensiones faltantes del cilindro de compresión, se usó el libro resistencia de materiales aplicada 3 ed. Robert L. Mott.

- $d_{interno} = 103,5$ [mm]
- $P_{Max} = 45 * 10^6$ [Pa]
- $Altura_{cilindro} = 330$ [mm]
- $t_{espesor} =$
- $a = \frac{d_{interno}}{2}$ [m]
- $\frac{d_{externo} - d_{interno}}{2}$ [m]
- $b = \frac{d_{externo}}{2}$ [m]

- $D_{medio} = \frac{d_{externo} + d_{interno}}{2} [m]$
- $\sigma_{Esfuerzo \text{ de diseño}} = \frac{S_y}{N}$
- $\sigma_{Esfuerzo \text{ longitudinal}} = \frac{p \cdot a^2}{b^2 - a^2}$
- $\sigma_{Esfuerzo \text{ tangencial}} = \frac{p \cdot (a^2 + b^2)}{b^2 - a^2}$

Simbología

- ✓ $d_{interno}$ = diámetro interno del cilindro de compresión.
- ✓ $D_{externo}$ = diámetro externo del cilindro de compresión.
- ✓ D_{medio} = diámetro medio del cilindro de compresión.
- ✓ $Altura_{cilindro}$ = altura del cilindro.
- ✓ a = radio interno del cilindro.
- ✓ b = Radio externo del cilindro.
- ✓ $t_{espesor}$ = espesor del cilindro de compresión.
- ✓ $\sigma_{Esfuerzo \text{ longitudinal}}$ = Esfuerzo longitudinal del cilindro de compresión.
- ✓ S_y = esfuerzo de fluencia del material.
- ✓ N = factor de seguridad.

en el caso de presión estable, el esfuerzo de diseño se puede basar en la resistencia a la cedencia del material

- $\sigma_{Esfuerzo \text{ tangencial}} = \sigma_{Esfuerzo \text{ de diseño}}$
- $N_{Factor \text{ de seguridad}} = 1,3$

En la tabla 6 se obtuvieron los resultados de las variables faltantes reemplazando y resolvieron las fórmulas anteriores en el software EES licencia educativa, en la cual buscamos encontrar el diámetro externo para un factor de seguridad de 1.3 escogido.

Tabla 6.

Calculo Diámetro externo y selección Factor de seguridad recamara de compresión en Software EES licencia educativa

1..10	1 N	2 D _{externo} [m]	3 t	4 S _y	5 Esf _d	6 Esf _{Lo}	7 Esf _{Tan}
Run 1	1	0,1294	0,01294	2,050E+08	2,050E+08	8,000E+07	2,050E+08
Run 2	1,1	0,1324	0,01445	2,050E+08	1,864E+08	7,068E+07	1,864E+08
Run 3	1,2	0,1356	0,01603	2,050E+08	1,708E+08	6,292E+07	1,708E+08
Run 4	1,3	0,1388	0,01765	2,050E+08	1,577E+08	5,635E+07	1,577E+08
Run 5	1,4	0,1422	0,01934	2,050E+08	1,464E+08	5,071E+07	1,464E+08
Run 6	1,5	0,1457	0,0211	2,050E+08	1,367E+08	4,583E+07	1,367E+08
Run 7	1,6	0,1494	0,02293	2,050E+08	1,281E+08	4,156E+07	1,281E+08
Run 8	1,7	0,1532	0,02484	2,050E+08	1,206E+08	3,779E+07	1,206E+08
Run 9	1,8	0,1572	0,02684	2,050E+08	1,139E+08	3,444E+07	1,139E+08
Run 10	1,9	0,1614	0,02894	2,050E+08	1,079E+08	3,145E+07	1,079E+08

Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

De la anterior tabla, se pudo comprobar que el factor de seguridad seleccionado $N = 1,3$, Se obtuvo un diámetro exterior del cilindro de 138,8 [mm] y un espesor del cilindro de 17,65 [mm].

Con los resultados obtenidos en los cálculos, se seleccionó el material y las dimensiones para diseño de la recamara de compresión.

Material: acero inoxidable AISI 304

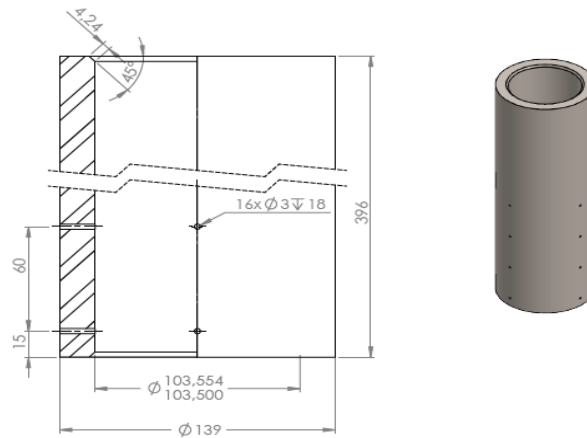
- $N_{\text{Factor de seguridad}} = 1,3$
- $d_{\text{externo}} = 103,5$ [mm]
- $d_{\text{interno}} = 103,5$ [mm]
- $Altura_{\text{cilindro}} = 396$ [mm]

- $t_{\text{espesor}} = 17,75 \text{ [mm]}$

En la siguiente figura 14 se presenta un diseño en detalle de la recámara de compresión con base a las medidas calculadas junto con las perforaciones requeridas para la evacuación de la manteca de cacao y sus respectivos chaflanes.

Figura 14.

Diseño detalle de la recámara de compresión medidas en [mm] en software SolidWorks

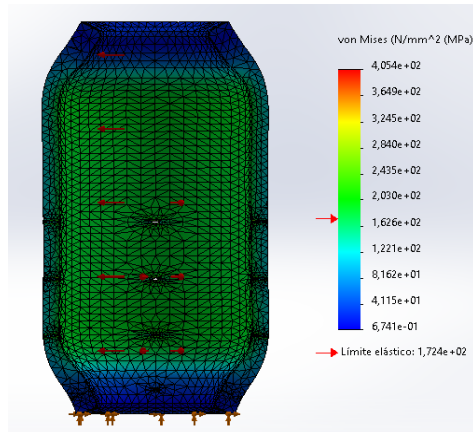


Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

En la figura 14, se presenta un modelo de la recámara de compresión con sus respectivas dimensiones calculadas por medio del software SolidWorks y por el cual también se realizó una simulación de elementos finitos para observar el comportamiento del cilindro bajo las cargas de presión de 45 Mpa.

Figura 15.

Simulación recámara de compresión en software SolidWorks.



Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

Para el desarrollo de la simulación se debió tomar la arista exterior de la cara inferior del cilindro para generar la restricción de desplazamiento requeridas para asemejarla a pruebas prácticas con la prensa seleccionada.

Como se puede observar en la figura 15 los esfuerzos críticos se encuentran en las perforaciones del cilindro mientras que el máximo esfuerzo generado dentro de la recamara esta entre 200 y 170 [MPa] por debajo del límite de fluencia del material, esto trabajando al máximo de su capacidad de carga másica, por lo que se recomienda trabajar por debajo de los 3 kg de su carga másica, para no sobre esforzar el equipo y extender su vida útil.

Datos generales:

- ✓ Máxima tensión de Von Mises= 200 – 170 [MPa]
- ✓ Máxima deformación= 0,045 [mm]
- ✓ Coeficiente de seguridad=1,3
- ✓ Masa de la pieza= 21,379 [kg]
- ✓ Máxima presión interna= 45 [MPa]

5.2.3.1.2 Diseño del vástago. Para el diseño del pistón se propuso dividirlo en dos piezas vástago y embolo, posteriormente se unió por una brida, esto para poder simular el comportamiento del pistón y obtener dimensiones más precisas. Se uso nuevamente los parámetros y las dimensiones calculadas del diseño de la recamara de compresión, para el cálculo del vástago.

- $P_{Max} = 45 * 10^6 [Pa]$
- $s_y = 205 [Mpa]$
- $L_{longitud} = 300 [mm]$
- $E = 19.3 * 10^{10} [pa]$
- $d_{embolo} = 103,5 [mm]$
- $N_{Factor\ de\ seguridad} = 2,5$

Simbología:

- ✓ Pmax: Presión máxima requerida para la extracción de manteca de cacao
- ✓ Llongitud= longitud del vástago.
- ✓ D embolo = diámetro del embolo.
- ✓ E= módulo de elasticidad del acero
- ✓ Nfactor de seguridad= factor de seguridad del vástago
- ✓ Sy= esfuerzo de fluencia del acero.

Para hallar el diámetro del vástago se requiere calcular como una columna por medio de cargas criticas usando la fórmula J.B. Johnson y Euler, para determinar si es columna corta o columna larga.

Primero se procede calcular la relación de esbeltez SR y luego encontrar constante de la columna Cc, si SR es menor que Cc se considerará como columna corta, en caso contrario será larga.

- $SR = \frac{KL}{r} = \frac{L_e}{r}$
- $r = \sqrt{\frac{I_{inercia}}{A}}$

$$\bullet \quad I_{inercia} = \pi * \frac{d_{vástago}^4}{64} \qquad \bullet \quad A = \pi * \frac{d_{vástago}^2}{4}$$

Simbología:

- ✓ K=factor de fijación de los extremos
- ✓ Le=longitud de efectiva, teniendo en cuenta la manera de fijar los extremos
- ✓ r=radio de giro mínimo de la sección transversal de la columna.
- ✓ $I_{inercia}$ = inercia del vástago
- ✓ SR=esbeltes del vástago
- ✓ Cc= carga critica del vástago.
- ✓ $D_{vástago}$ = diámetro del vástago.
- ✓ A = área de la sección transversal del vástago.
- ✓ L= longitud del vástago.

Constante de la columna Cc,

$$\bullet \quad Cc = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}}$$

- ✓ Sy: esfuerzo de fluencia del acero 304 =205 [Mpa]
- ✓ E: módulo de elasticidad del acero inoxidable 304= 193 [Gpa]

Carga critica:

$$\bullet \quad P_{cr} = A * S_y * \left(1 - \frac{(S_y * (L_e/r)^2)}{4\pi^2 * E}\right)$$

- ✓ Le: longitud efectiva=K*L
- ✓ L: longitud de la probeta = 300 [mm]

Esfuerzo de diseño:

- $\sigma_{diseño} = \frac{S_y}{N_{factor\ de\ seguridad}} = \left(\frac{f_1}{A_{vastago}} \right)$
- $A_{vastago} = \pi * \frac{d_{vastago}^2}{4}$

- ✓ F1: es la fuerza ejercida por el punzo de la prensa hidráulica requerida para comprimir el licor de cacao.

También tendremos la fuerza normal generado por el licor cacao, que estará dada por la siguiente formula.

- $P_{Max} = 45 * 10^6 [Pa] = \frac{f_2}{A_{embolo}}$
- $A_{embolo} = \pi * \frac{d_{embolo}^2}{4}$

- ✓ F2: es la fuerza generada por la compresión del licor cacao.

Ahora con las fórmulas establecidas y usando el software EES licencia educativa, se solucionó las ecuaciones variando el diámetro del vástago de forma escalar de a 1 [mm].

Tabla 7.

Cálculo de diámetro y longitud del vástago en Software EES licencia educativa.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Dv [m]	L [m]	F ₁	F ₂	Pmax	Esf _d [1/m ²]	Sy	C _c	SR
Run 1	0,01	0,3	6440	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	252
Run 2	0,015	0,3	14491	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	168
Run 3	0,02	0,3	25761	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	126
Run 4	0,025	0,3	40252	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	100,8
Run 5	0,03	0,3	57962	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	84
Run 6	0,035	0,3	78893	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	72
Run 7	0,04	0,3	103044	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	63
Run 8	0,045	0,3	130415	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	56
Run 9	0,05	0,3	161007	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	50,4
Run 10	0,055	0,3	194818	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	45,82
Run 11	0,06	0,3	231850	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	42
Run 12	0,065	0,3	272101	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	38,77
Run 13	0,07	0,3	315573	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	36
Run 14	0,075	0,3	362265	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	33,6
Run 15	0,08	0,3	412177	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	31,5
Run 16	0,085	0,3	465309	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	29,65
Run 17	0,09	0,3	521661	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	28
Run 18	0,095	0,3	581234	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	26,53
Run 19	0,1	0,3	644026	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	25,2
Run 20	0,105	0,3	710039	378602	4,500E+07	8,200E+07	2,050E+08	136,3	24

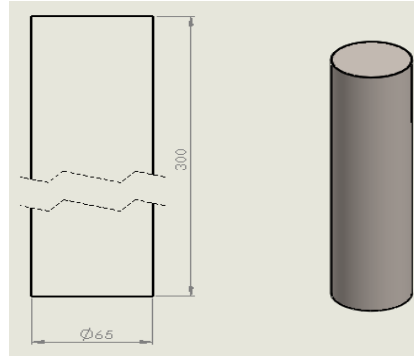
Nota. Tabla elaborada por los autores de proyecto

Seleccionando el diámetro de 65 [mm] el cual nos da una fuerza sobre el embolo de F1: 272101 [N] y una fuerza doble el vástago de 378602 [N] esto debido a que se requiere espacio para la brida de sujeción entre el vástago y el embolo y también una fuerza menor sobre el embolo la cual estará sujeta al diseño de este el cual se realizará más adelante, por lo que estará sujeta a cambios. Como se observa en la tabla anterior el Cc es mayor a SR, por lo que se estableció la ecuación de J.B. Johnson para columnas cortas.

A continuación, se presenta un modelo del vástago con las dimensiones calculadas, realizado por medio del software SolidWorks.

Figura 16.

Diseño detalle del pistón medidas en [mm] en Software SolidWorks.

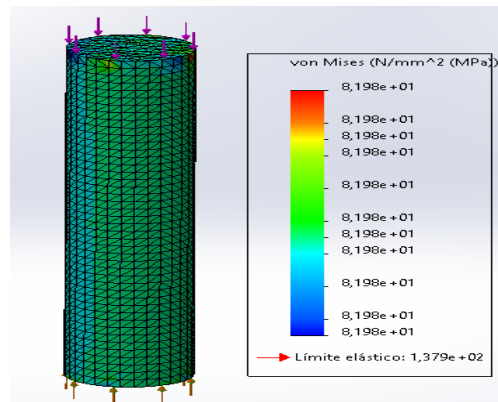


Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

En la figura 17 se presenta una simulación del vástago bajo las cargas encontradas en la tabla 10, por medio del elemento finitos del mismo software SolidWorks.

Figura 17.

Simulación de cargas en el vástago en software SolidWorks



Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

Comparando los datos de la simulación y de la tabla 10 podemos ver que los esfuerzos máximos generados en la simulación no superan los esfuerzos de diseño o del material por lo cual podemos afirmar que nuestro vástago no fallara.

Datos generales:

- ✓ Máxima tensión de Von Mises [Mpa]= 81,98 [MPa]

- ✓ Máxima deformación= 0,03681 [mm]
- ✓ Coeficiente de seguridad= 2,5
- ✓ Masa de la pieza= 7,964 kg

5.2.3.1.3 Diseño del embolo. Para el diseño del embolo se usaron los siguientes datos ya seleccionados:

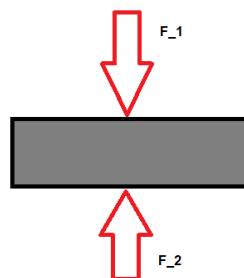
- $P_{Max} = 45 * 10^6$ [Pa]
- $N_{Factor\ de\ seguridad} = 2,5$
- $s_y = 205$ [Mpa]
- $d_{vastago} = 65$ [mm]
- $E = 19.3 * 10^{10}$ [pa]

Nota: Se usarán las mismas tolerancias del modelo construido

- $d_{int_{cilindro}} = 103,5^{+0,054}/_{0,000}$ [mm]
- $d_{embolo} = 103,5^{-0,036}/_{-0,071}$ [mm]

Figura 18.

Diagrama de cuerpo libre del embolo.



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto.

$$\begin{aligned}
 & \bullet f_1 = 272101 \text{ [N]} \\
 & \bullet P_{Max} = \frac{f_2}{\frac{d_{int,cilindro}^2 * \pi}{4}} \\
 & \bullet D_{deformacion} = \frac{f_2 * L}{A * E} \\
 & \bullet \sigma_{cort;adm} = \left(\frac{f_1}{A_c} \right) = 0,5 * \frac{S_y}{N_{factor\ de\ seguridad}} \\
 & \bullet A_c = \pi * d_{vastago} * L
 \end{aligned}$$

Simbología:

- ✓ F1= fuerza aplicada sobre el embolo a través del vástago
- ✓ F2= fuerza generada sobre el embolo por el licor de cacao comprimiéndose.
- ✓ Dint cilindro = diámetro interno del cilindro de compresión.
- ✓ Ac = área de corte critica.
- ✓ Dvastago = diámetro del vástago.
- ✓ $\sigma_{cort;adm}$ =esfuerzo cortante admisible.
- ✓ L = longitud del embolo.

Remplazando los datos y resolviendo las ecuaciones con ayuda del software EES licencia educativa obtenemos los siguientes datos en la figura 19:

Figura 19.

Resultados cálculos de espesor del embolo en software EES licencia educativa.

$A = 0,008413 \text{ [m}^2\text{]}$	$A_c = 0,006637 \text{ [m]}$	$D_{embolo} = 0,1035 \text{ [m]}$
$D_{ext,vast} = 0,065 \text{ [m]}$	$D_{int,cilindro} = 0,1035 \text{ [m]}$	$E = 1,930E+11$
$E_{sf_{cort,adm}} = 4,100E+07 \text{ [N/m]}$	$F_1 = 272101 \text{ [N]}$	$F_2 = 378602 \text{ [N]}$
$L = 0,0325$	$N = 2,5$	$P_{max} = 4,500E+07 \text{ [1/m}^2\text{]}$
$S_y = 2,050E+08$		

Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

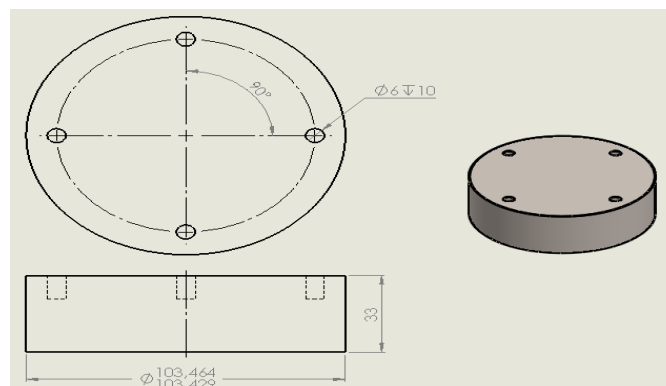
De la figura 19 obtenemos que la fuerza de punzón ejercida sobre el embolo es de 272101 [N] y una fuerza normal generada por la compresión del licor de cacao sobre el embolo es de 378602 [N], también el espesor del embolo será de 33 [mm]. Por lo tanto, las medidas del embolo son:

- ✓ Ancho del embolo= 33 [mm]
- ✓ Diámetro del embolo= 103,5 [mm]
- ✓ Material: Acero inoxidable AISI 304

En la siguiente figura 20 se presenta el modelado del embolo, con sus respectivas dimensiones calculadas previamente, el cual se realizo por medio del software SolidWorks. (Para mayor detalle ver archivo planos prensa hidráulica para manteca de cacao)

Figura 20.

Vista lateral y superior embolo en software SolidWorks.

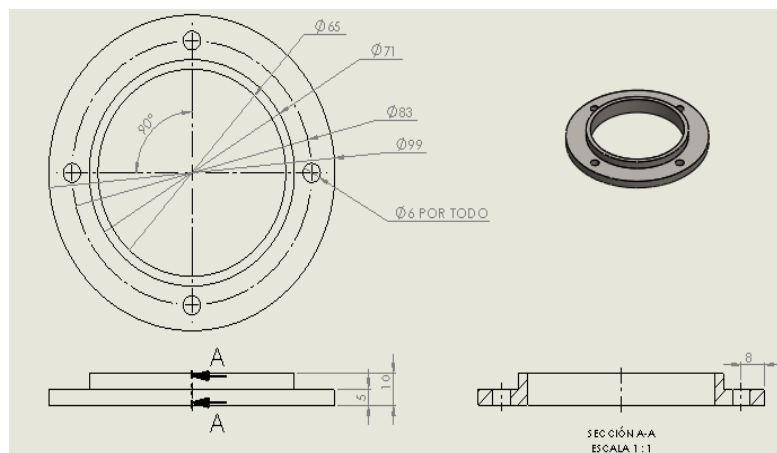


Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

Tambien se presenta en la figura 21 la brida para el acople del embolo a el vastago, tambien realizada por medio del software SolidWorks. (Para mayor detalle ver archivo planos prensa hidráulica para manteca de cacao)

Figura 21.

Acople brida vástago-embolo.

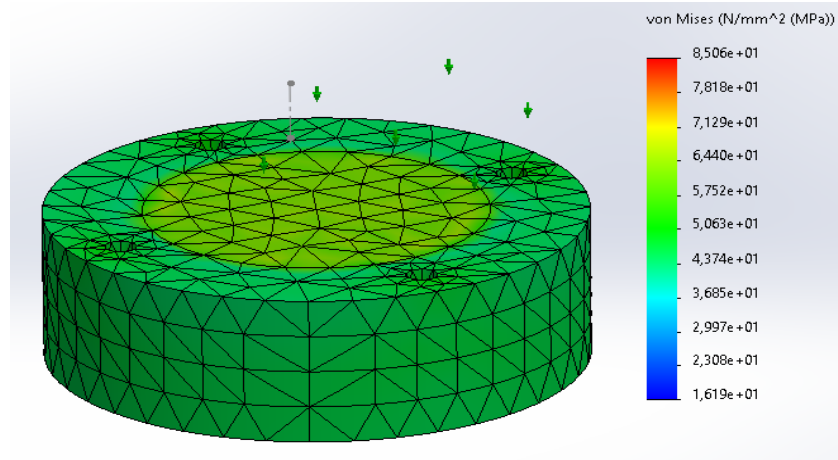


Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

En la figura 21 se presenta una simulación del embolo por elementos finitos por medio del software SolidWorks.

Figura 22.

Esfuerzo de diseño del embolo en la simulación del software SolidWorks



Nota. Figura elaborada por los autores del proyecto

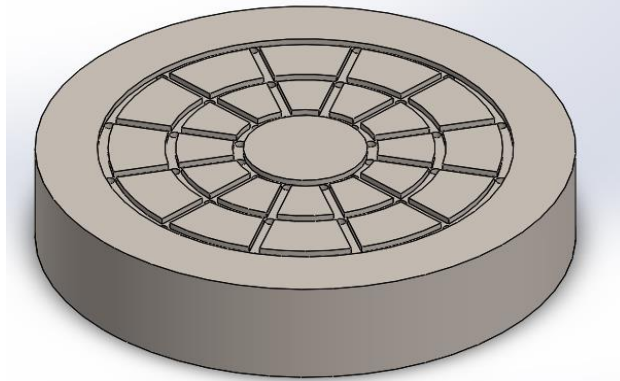
Como se observa en la simulación de la figura 22 y en los datos calculados en el software ESS mostrados en la figura 19, el esfuerzo sobre el embolo se encuentra levemente por encima del esfuerzo de diseño por lo que se sugiere trabajar por debajo de su carga máxima especificada para prolongar la vida útil de la pieza.

- ✓ Máxima tensión de Von Mises [Mpa]= 85,06 [MPa]
- ✓ Máxima deformación= 0,192 [mm]
- ✓ Coeficiente de seguridad=2,5
- ✓ Masa de la pieza= 3,5132kg

5.2.3.1.4 Placa filtro inferior. Diseño conceptual de la placa inferior. En la siguiente figura 23 se presenta la propuesta conceptual del diseño de la placa de filtrado, la cual consta de canales sobre la cara superior y taladrados en cada una de sus intercepciones, este se realizó por medio del software SolidWorks.

Figura 23.

Diseño conceptual de la placa de filtrado.



Nota. Figura elaborada por los autores del proyecto

A continuación, se encuentra el proceso de cálculo de la placa de filtrado y algunos datos hallados previamente junto con datos del material Acero inoxidable AISI 304.

Datos del material:

- $s_u = 205 * 10^6$ [pa]
- $E = 19.3 * 10^{10}$ [pa]
- $N_{\text{Factor de seguridad}} = 2,5$

La fuerza sobre la placa de filtrado se obtiene de la siguiente ecuación de presión

- $P_{Max} = \frac{f2}{A_{piston}}$
- $A_{piston} = \pi * \frac{d_{piston}^2}{4}$

✓ P_{max} : presión máxima requerida = 45 [Mpa]

✓ d_{piston} : Diámetro del pistón = 103,5 [mm]

También calcularemos la deformación y el esfuerzo de diseño (Esf_d):

- $D_{deformacion} = \frac{f2 * L}{A_{piston} * E}$

Donde L va a hacer el mismo espesor del embolo, por lo tanto

✓ $L = 33$ [mm]

$$\bullet \quad \sigma_{\text{diseño}} = \frac{S_u}{N_{\text{factor de seguridad}}}$$

Usando el software ESS reemplazamos los datos y resolvemos las ecuaciones

Figura 24.

Datos obtenidos al resolver ecuaciones con software EES licencia educativa

$A_p = 0,008413 \text{ [m}^2\text{]}$	deformacion = 0,000007694 [1/m ²]	$D_p = 0,1035 \text{ [m]}$
$D_{\text{tapa}} = 0,1035 \text{ [m]}$	$E = 1,930\text{E}+11$	$\text{Esf}_d = 8,200\text{E}+07$
$F = 378602$	$L = 0,033$	$N = 2,5$
$P_{\text{max}} = 4,500\text{E}+07$	$S_u = 2,050\text{E}+08$	

Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

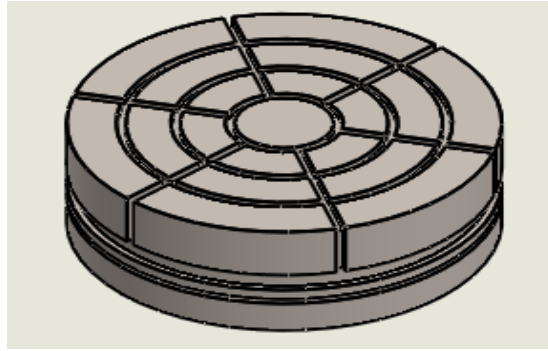
Por lo tanto, las dimensiones de la tapa inferior de filtrado serán de:

- ✓ Espesor= 33 [mm]
- ✓ Diámetro de la tapa=103,5 [mm]

A continuación, en la figura 25 se presenta el modelado de la placa filtrante con las dimensiones calculadas usando el software SolidWorks:

Figura 25.

Modelado placa filtrante.



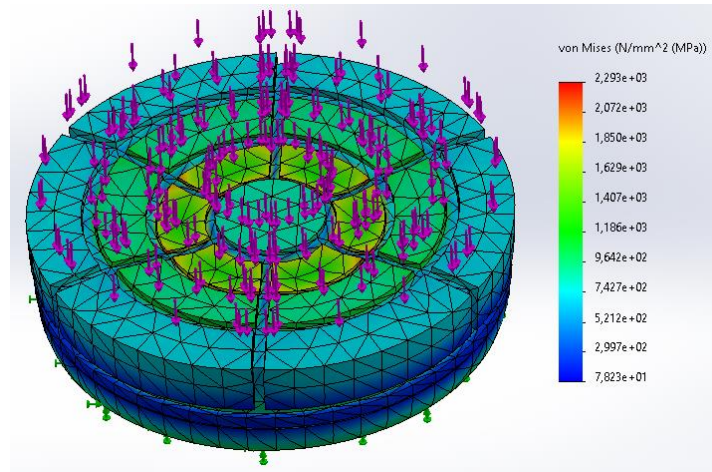
Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Como se muestra en las figuras 23 y 25 se optó por quitar los agujeros propuestos y se eligieron 6 canales laterales para extraer la manteca de cacao de forma lateral y no por la base, esto para facilitar la extracción, también se agregó un canal lateral para conectar y facilitar las salidas del material, por último, un segundo canal lateral para el posicionamiento de un oring para evitar que el material se filtre por las tolerancias de la placa filtrante. (Para mayor detalle ver archivo planos prensa hidráulica para manteca de cacao)

En la siguiente figura 26 se presenta una simulación por elementos finitos hecha por medio del software SolidWorks.

Figura 26.

Simulación de cargas sobre placa filtrante en Software SolidWorks



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

De estas simulaciones podemos ver que los esfuerzos sobre la superficie incrementan exponencialmente entre más canales se mecanicen sobre la pieza, aun cuando la prioridad sea la preservación de la vida útil de la pieza se sugiere su uso por debajo de las cargas máximas, ya que permite el mejor desagüe de la manteca de cacao cuando se trabaje por debajo de las cargas máxima.

5.2.3.1.5 Cálculo de ajuste y tolerancia. Para ello se usará el libro de Hernán rojas, tabla 9, pág. 43

Tolerancias entre el embolo y el cilindro:

- ✓ Diámetro interno del cilindro (D_c)= 103,5 [mm]
- ✓ Diámetro del embolo (D_e) =102,5 [mm]

Tolerancias entre el embolo y el cilindro: sistema de agujero único (SAU)

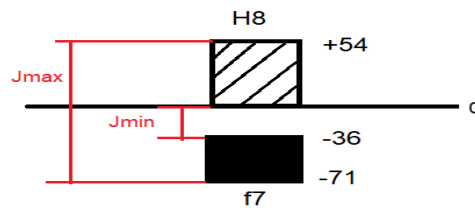
- ✓ Diámetro interno del cilindro (D_c)= 103,5 [mm]
- ✓ Diámetro del vástago (D_v) =103,5 [mm]

$$\bullet \quad 103,5 \text{ H}8/f7 = 103,5 \begin{matrix} +0,054/0,000 \\ -0,036/-0,071 \end{matrix}$$

La figura 27 es una representación del ajuste que tendrán las tapas con el cilindro de compresión.

Figura 27.

Representación ajuste de las tapas y la recámara de compresión en Libro Hernán Rojas.



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

- ✓ Intervalo de tolerancias (IT)= CM-Cm
- ✓ CM: cota máxima
- ✓ Cm: cota mínima
- ✓ Juego máximo (Jmax): Tmax del agujero – Tmin del eje
- ✓ $J_{max} = 0,054 - (-0,071) = 0,125$ [mm]
- ✓ Juego mínimo (Jmin): Tmin agujero – Tmax eje
- ✓ $J_{min} = 0,00 - (-0,036)$ [mm] = 0,036[mm]

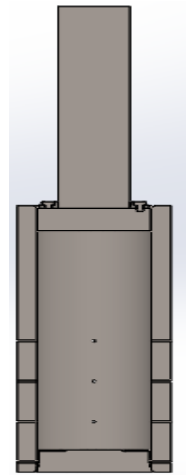
En las siguientes figuras 28 y 29 se presenta el ensamble del subsistema de la recámara de compresión junto con una vista seccionada de la misma, para su mayor comprensión. (Para mayor detalle ver archivo planos prensa hidráulica para manteca de cacao)

Figura 28.

Ensamble subconjunto recamara de compresión.

**Figura 29.**

Vista seccionado subconjunto recamara de compresión.



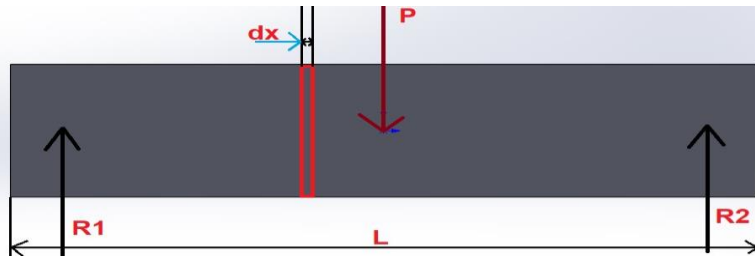
Nota. Figuras elaboradas por los autores del proyecto.

5.2.3.2 Diseño de la estructura base. En esta parte se realizó el análisis, los cálculos geométricos, esfuerzo de tensión y de deformación, así mismo saber el dimensionamiento de la estructura y el tipo de acero a utiliza.

5.2.3.2.1 Diseño de la viga. Para los cálculos de las dimensiones de la viga, se tomó como base los conceptos del capítulo 6. Fuerza cortantes y momentos flexionantes en vigas del libro resistencia de materiales aplicada 3 edición escrito por ROBERT L. MOTT P.E., el cual sirvió para encontrar las fuerzas resultantes y el momento de cada apoyo.

Figura 30.

Diagrama de la viga con las fuerzas aplicadas



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Según el capítulo 6. Fuerza cortantes y momentos flexionantes en vigas, se realizó un análisis estático y diagrama de cuerpo libre, para encontrar el tipo de apoyo y los valores $R1$, $R2$, $M1$, $M2$ y q . Además, se va a implementar dos vigas para soporta la fuerza puntual P , la fuerza transmitida para una viga sería $P/2$ y sería una fuerza q uniformemente distribuida.

- ✓ P = Fuerza puntual ejercida del cilindro
- ✓ q = Fuerza distribuida ejercida por el cilindro
- ✓ $F1$ = la fuerza puntual de viga ejercía en una viga.
- ✓ $R1$ = Fuerza Resultante
- ✓ $R2$ = Fuerza Resultante
- ✓ $M1$ = Momento Resultante
- ✓ $M2$ = Momento Resultante
- ✓ dx = distancia de la fuerza q ejercía en la viga.

Se define el valor de la fuerza puntual ejercida del cilindro que es 50 [tn] esta es transmitía por el sistema hidráulico, también se conoce la distancia de 300[mm] sobre la cual se va a ejercer fuerza distribuida.

$$\checkmark P=50 \text{ [tn]} =490366\text{[N]}$$

$$\checkmark dx=300\text{[mm]}$$

Para encontrar la fuerza distribuida y la fuerza puntual ejercía sobre una viga se aplica la siguiente formula:

$$\bullet q = \frac{P}{dx} \left[\frac{N}{mm} \right]$$

$$\checkmark q=817.22 \text{ [N/mm]}$$

Con el dato obtenido anteriormente la fuerza q, se puede calcular F1.

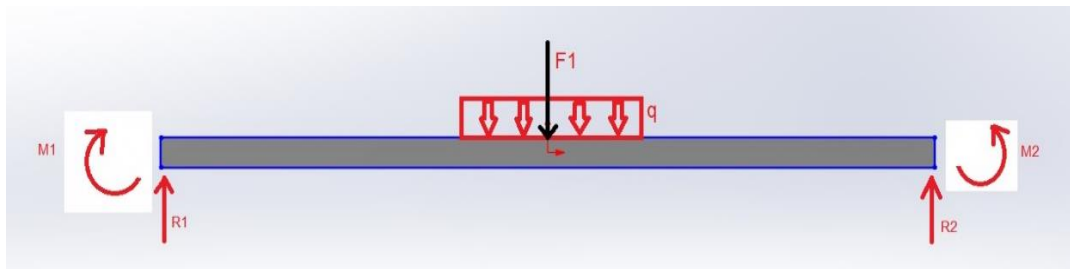
$$\bullet F1 = q * dx \text{ [N]}$$

$$\checkmark F1= 245166\text{[N]}$$

Se implemento el diagrama de fuerza cortante y momento flexionante para identificar el momento máximo.

Figura 31.

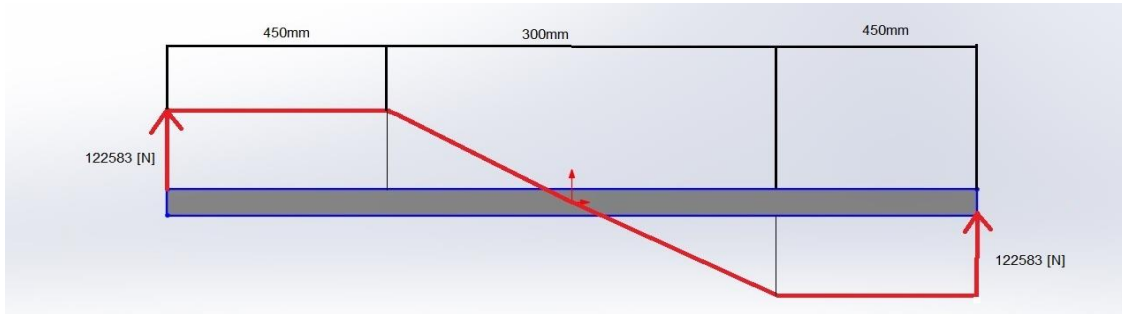
Diagrama de cuerpo libre de la viga.



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Figura 32.

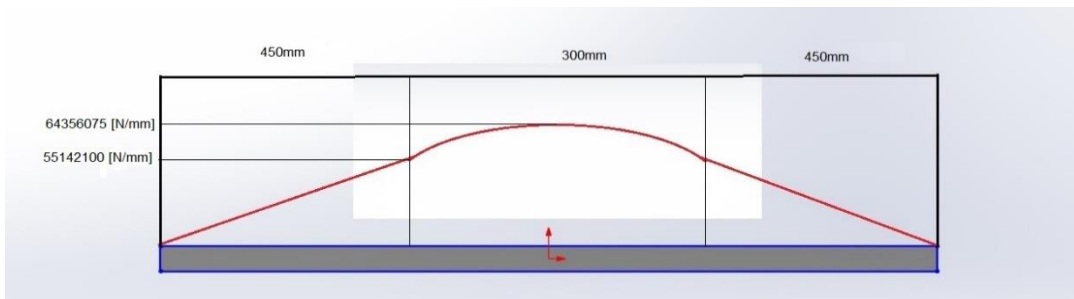
Diagrama de Fuerza cortante.



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Figura 33.

Diagrama de momento flexionante.



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Con base a los diagramas se hacen una sumatoria de fuerza en X y Y para encontrar las fuerzas en los apoyos, así mismo se encontró el momento máximo que soporta la viga.

✓ $F1 = 245166 [N]$	✓ $F1 * 600 = R2 *$
✓ $\sum Fy = 0$	1200
✓ $F1 = R1 + R2$	✓ $R2 = 122583 [N]$
✓ $\sum M1 = 0$	✓ $R1 = 122583 [N]$

- $Mmax = 64356075 \left[\frac{N}{mm} \right]$

Encontrando el M_{max} se procede a calcular el esfuerzo máximo y el factor de seguridad, para ello primero se debe seleccionar el material, el perfil a usar, el costo su disponibilidad. Se seleccionó el catálogo de la empresa Sterckerl Aceros, del cual se tomaron las dimensiones del perfil en figura 34.

- $\sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot y}{I}$
- $F_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$

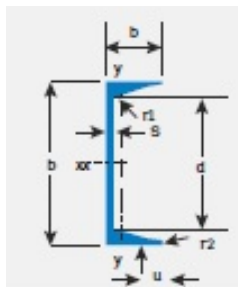
Simbología:

- ✓ σ_{max} = Esfuerzo máximo
- ✓ I = Momento Inercia
- ✓ y = distancia del centro de inercia.
- ✓ F_s = Factor de Seguridad
- ✓ S_y = Límite elástico del acero.

El perfil que se trabajo fue el UPN 300 de acero astm a36.

Figura 34.

Perfiles en U ó C estándar europeo-UPN y perfil C sección Pequeña.



Nota. Figura extraída del catálogo (STECKERL ACEROS, 2015) pág. 34

Las dimensiones del perfil seleccionado se toman de la tabla 9.

Tabla 8.

Perfil C estándar europeo- UPN

PERFIL C ESTÁNDAR EUROPEO – UPN																	
DIMENSIONES Y PROPIEDADES PARA EL DISEÑO																	
PERFILES UPN	DIMENSIONES								AREA	PESO	PROPIEDADES ELÁSTICAS						CONS TORS
	ALTURA		ALA		DISTANCIAS						EJE X-X			EJE Y-Y			
	h	s	b	t	r1	r2	d	Ix			Sx	rx	Iy	Sy	ry	Jt	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	kg/m ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴		
UPN 80	80.00	6.00	45.00	8.00	8.00	4.00	46.00	11.00	8.64	106.00	26.50	3.10	19.40	6.36	1.33	2.16	
UPN 100	100.00	6.00	50.00	8.50	8.50	4.50	64.00	13.50	10.60	206.00	41.20	3.91	29.30	8.49	1.47	2.81	
UPN 120	120.00	7.00	55.00	9.00	9.00	4.50	82.00	17.00	13.40	364.00	60.70	4.62	43.20	11.10	1.59	4.15	
UPN 140	140.00	7.00	60.00	10.00	10.00	5.00	98.00	20.40	16.00	605.00	86.40	5.45	62.70	14.80	1.75	5.68	
UPN 160	160.00	7.50	65.00	10.50	10.50	5.50	115.00	24.00	18.80	925.00	116.00	6.21	85.30	18.30	1.89	7.39	
UPN 180	180.00	8.00	70.00	11.00	11.00	5.50	133.00	28.00	22.00	1350.00	150.00	6.95	114.00	22.40	2.02	9.55	
UPN 200	200.00	8.50	75.00	11.50	11.50	6.00	151.00	32.20	25.30	1910.00	191.00	7.70	148.00	27.00	2.14	11.90	
UPN 220	220.00	9.00	80.00	12.50	12.50	6.50	167.00	37.40	29.40	2690.00	245.00	8.48	197.00	33.60	2.30	16.00	
UPN 240	240.00	9.50	85.00	13.00	13.00	6.50	184.00	42.30	33.20	3600.00	300.00	9.22	248.00	39.60	2.42	19.70	
UPN 260	260.00	10.00	90.00	14.00	14.00	7.00	200.00	48.30	37.90	4820.00	371.00	9.99	317.00	47.70	2.56	25.50	
UPN 280	280.00	10.00	95.00	15.00	15.00	7.50	216.00	53.30	41.80	6280.00	448.00	10.90	399.00	57.20	2.74	31.00	
UPN 300	300.00	10.00	100.00	16.00	16.00	8.00	232.00	58.80	46.20	8030.00	535.00	11.70	495.00	67.80	2.90	37.40	
UPN 320	320.00	14.00	100.00	17.00	17.50	8.75	246.00	75.80	59.50	10870.00	679.00	12.10	597.00	80.60	2.81	66.70	
UPN 350	350.00	14.00	100.00	16.00	16.00	8.00	282.00	77.30	60.60	12840.00	734.00	12.90	570.00	75.00	2.70	61.20	
UPN 380	380.00	13.50	102.00	16.00	16.00	8.00	313.00	80.40	63.10	15740.00	829.00	14.00	615.00	78.70	2.77	59.10	
UPN 400	400.00	14.00	110.00	18.00	18.00	9.00	324.00	91.50	71.80	20350.00	1020.00	14.90	846.00	102.00	3.04	81.60	

Nota. Figura extraída del catálogo (STECKERL ACEROS, 2015) “triples* s* Steel” pag

34

- $b = 300[mm]$
- $I = 8030 * 10^5 [mm^4]$
- $y = \frac{b}{2} = 150$
- $Sy = 250[Mpa]$

Con las dimensiones de catálogo se calculó el esfuerzo máximo y el factor de seguridad.

- $$\sigma_{max} = \frac{64356075 \left[\frac{N}{mm}\right] * 150[mm]}{8030 * 10^5 [mm^4]}$$
- $$\sigma_{max} = 120,2 \left[\frac{N}{mm^2}\right]$$

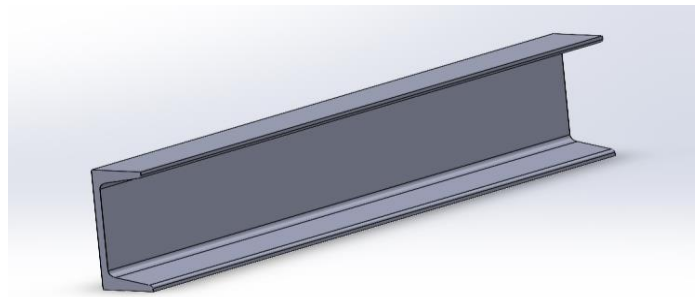
Encontrado el esfuerzo máximo, se calcula el factor de seguridad.

- $$Fs = \frac{250[Mpa]}{120,2 \left[\frac{N}{mm^2}\right]} = 2,079$$
- $$FS_{Factor\ de\ seguridad} = 2,1$$

Para miembros estructurales el rango de factor de seguridad estaría en 1,8 a 2,5, se tomó como factor de seguridad 2,1 para de encontrar las dimensiones, esfuerzos, fuerza y momentos. Se procede a diseñar la viga mediante el programa solidWord con los datos obtenidos.

Figura 35.

Modelado de la viga por el programa SolidWord.

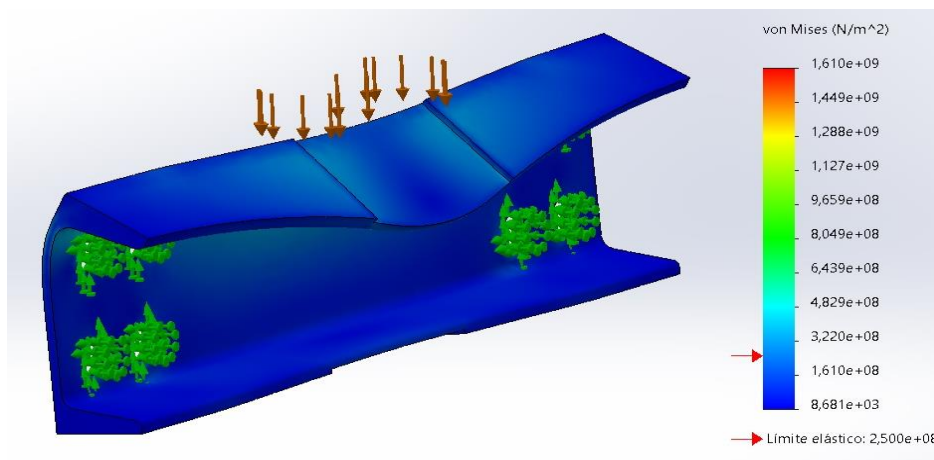


Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Con diseño de la viga modelado en solidword se hace la simulación para validar el límite elástico. (Para mayor detalle ver archivo planos prensa hidráulica para manteca de cacao)

Figura 36.

Simulación de la viga por el programa SolidWord.



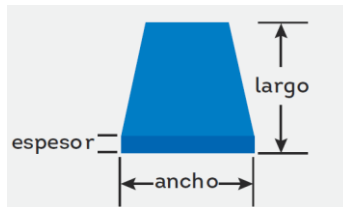
Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

5.2.3.2.2 Diseño de la columna. Para el diseño de la columna se tomó como referencia el capítulo 14. Columnas del libro resistencia de materiales aplicada, el cual sirvió para encontrar los esfuerzos, los momentos y las dimensiones que debe tener la columna para soportar la fuerza ejercía de 50 tn.

Del catálogo de la empresa Sterckerl Aceros se seleccionó el acero y el grosor de la lámina, para el diseño de las columnas se utilizó el acero a572 gr 50, donde se sacaron los siguientes datos:

Figura 37.

Dimensionamiento de Lámina en caliente



Nota. Figura extraída del catálogo (STECKERL ACEROS, 2015) “triples* s* Steel” pag 12

Tabla 9.

Calidades de Aceros planos más comerciales en Colombia

CALIDADES MAS COMUNES		COMPOSICIÓN QUÍMICA										PROPIEDADES MECÁNICAS			APLICACIONES MAS FRECUENTES
ASTM	DIN	L	C	MN	P	S	SI	CU	Ni	Cr	V	LÍMITE ELÁSTICO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	% ALARGA	
A - 36	ST 33 - 1.2	MIN		80			15						400MPa	20	Estructuras metálicas en general.
	ST 37 - 3U	MAX	25	120	4	4	30					≥250MPa	550MPa	23	
A - 283 GR C	RST 37 - 1.2	MIN		50			7					-	380MPa	20	Tanques de almacenamiento
		MAX	18	90	3.5	3.5	35					205MPa	450MPa	23	
A - 285 GR C	H11	MIN										-	380MPa	23	Recipientes a presión de baja e intermedia resistencia a la tracción.
		MAX	28	90	3.5	3.5						205MPa	515MPa	27	
A - 131 GR A	RST 34 - 1.2	MIN		53				20				-	400MPa	21	Construcción naval en general.
		MAX	21		4	4	50.4	20				235MPa	490MPa	24	
A - 516 GR 70	17mn4	MIN	27	85			15					-	485MPa	17	Recipientes a presión temperaturas media- alta.
		MAX	31	120	4	3.5	40					260MPa	620MPa	21	
A - 514 GR A	ROT 601	MIN				1.5						-	690MPa	-	Resistencia a la abrasion.
		MAX	20	150	3.5	4	50					≥600MPa	850MPa	19	
A - 572 GR 50	ST 52-3N	MIN					15					-		-	Fabricación de estructuras metálicas.
		MAX	23	135	4	5	40					≥345MPa	450MPa	20	
A - 588 GR B	WTST 52-3	MIN		75			15	2		4	0.1	-		-	Fabricación de estructuras metálicas que no requerirán de recubrimiento.
		MAX	20	135	4	5	40	4	5	7	1	345MPa	485MPa	18	

Nota. Figura extraída del catálogo (STECKERL ACEROS, 2015) “triples* s* Steel” pag 11

Tabla 10.*Láminas hot rolled ó laminas en calientes (dimensiones y peso)*

DIMENSIONES Y PESOS DE PLANCHAS COMERCIALES								
ESPESOR			M2	1.0 X 2.0 M	1.22 X 2.44 M (4'X 8')	1.83 X 6.09 M (6'X 20')	2.0 X 6.0 M	2.44 X 6.09 M (8'X 20')
CALIBRE	PULGADA	MILÍMETRO	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.
16		1.50	11.78	23.56	35.01	131.00	141.00	175.00
14		1.90	14.92	29.85	44.35	166.00	179.00	222.00
		2.50	19.63	39.27	58.35	219.00	236.00	292.00
12		2.66	20.89	41.78	62.09	233.00	251.00	311.00
11		3.00	23.56	47.12	70.02	263.00	283.00	350.00
	1/8"	3.17	24.90	49.79	73.99	278.00	299.00	370.00
		4.00	31.42	62.83	93.37	350.00	377.00	467.00
		4.50	35.34	70.69	105.04	394.00	424.00	525.00
	3/16"	4.76	37.38	74.77	111.11	417.00	449.00	556.00
		5.00	39.27	78.54	116.71	438.00	471.00	584.00
		6.00	47.12	94.25	140.05	525.00	565.00	700.00
	1/4"	6.35	49.87	99.75	148.22	556.00	598.00	741.00
	5/16"	7.94	62.36	124.72	185.33	695.00	748.00	927.00
		8.00	62.83	125.66	186.73	700.00	754.00	934.00
		9.00	70.69	141.37	210.07	788.00	848.00	1.051.00
	3/8"	9.53	74.85	149.70	222.44	834.00	898.00	1.113.00
		10.00	78.54	157.08	233.41	876.00	942.00	1.167.00
		12.00	94.25	188.50	280.10	1.051.00	1.131.00	1.401.00
	1/2"	12.70	99.75	199.49	296.44	1.112.00	1.197.00	1.483.00
		13.00	102.10	204.20	303.44	1.138.00	1.225.00	1.518.00
		15.00	117.81	235.62	350.12	1.313.00	1.414.00	1.751.00
	5/8"	15.88	124.72	249.44	370.66	1.390.00	1.497.00	1.854.00
		16.00	125.66	251.33	373.46	1.401.00	1.508.00	1.868.00
		19.00	149.23	298.45	443.49	1.664.00	1.791.00	2.218.00
	3/4"	19.05	149.62	299.24	444.65	1.668.00	1.795.00	2.224.00
		22.00	172.79	345.58	513.51	1.926.00	2.073.00	2.568.00
	7/8"	22.23	174.59	349.19	518.88	1.946.00	2.095.00	2.595.00
		25.00	196.35	392.70	583.54	2.189.00	2.356.00	2.919.00
	1"	25.40	199.49	398.98	592.87	2.224.00	2.394.00	2.965.00
		30.00	235.62	471.24	700.24	2.627.00	2.827.00	3.502.00
	1 1/4"	31.75	249.36	498.73	741.09	2.780.00	2.992.00	3.707.00
		32.00	251.33	502.65	746.93	2.802.00	3.016.00	3.736.00
		35.00	274.89	549.78	816.95	3.065.00	3.299.00	4.086.00
		38.00	298.45	596.90	886.97	3.327.00	3.581.00	4.436.00
	1 1/2"	38.10	299.24	598.47	889.31	3.336.00	3.591.00	4.448.00
		40.00	314.16	628.32	933.66	3.502.00	3.770.00	4.670.00
		50.00	392.70	785.40	1.167.07	4.378.00	4.712.00	5.837.00
	2"	50.80	398.98	797.96	1.185.74	4.448.00	4.788.00	5.931.00
		62.00	486.95	973.89	1.447.17	5.429.00	5.843.00	7.238.00
	2 1/2"	63.50	498.73	997.46	1.482.18	5.560.00	5.985.00	7.413.00
		75.00	589.05	1.178.10	1.750.61	6.567.00	7.069.00	8.756.00
	3"	76.20	598.47	1.196.95	1.778.62	6.672.00	7.182.00	8.896.00
		100.00	785.40	1.570.80	2.334.14	8.756.00	9.425.00	11.675.00
	4"	101.60	797.96	1.595.93	2.371.49	8.896.00	9.576.00	11.861.00

Nota. Figura extraída del catálogo (STECKERL ACEROS, 2015) "triples* s* Steel" pag 12

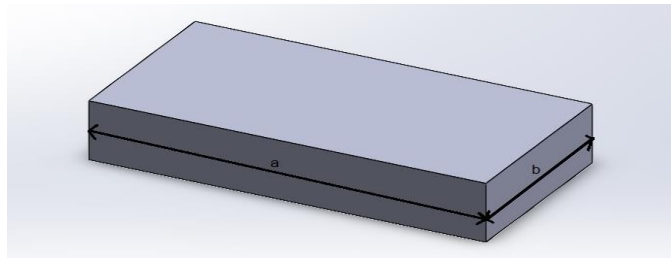
- $Sy_{A-572} = 345 [Mpa]$
- $E = 207 * 10^9 [pa]$
- $b_{espesor} = 31,75 [mm]$ se en la tabla.
- $\sigma_{max} = 120,2 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
- $M_{max} = 64356075 \left[\frac{N}{mm} \right]$
- $R1 = 122583 [N]$
- $I_{inercia} = 8,030 * 10^7 [mm^4]$
- $F_{factor\ de\ seguridad\ dela\ columna} = 1,8$

- ✓ $E = \text{módulo de elasticidad}$
- ✓ $b_{\text{espesor}} = \text{Espesor de la placa}$
- ✓ $Sy_{A-572} = \text{Límite elástico del acero A-572}$
- ✓ $a_{\text{ancho}} = \text{Ancho de la columna}$
- ✓ $R1 = \text{Fuerza Resultante}$

Se realizó el cálculo para encontrar el ancho “a” de la columna con los datos previamente obtenido y los tomados del catálogo.

Figura 38.

Sección transversal del ancho de la columna



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Para facilitar los cálculos se toma una sección de la columna con el fin de encontrar el ancho. (Para mayor detalle ver archivo planos prensa hidráulica para manteca de cacao)

- $I_{\text{inercia}} = \frac{b_{\text{espesor}} * a_{\text{ancho}}}{12}$
- $A_{\text{area}} = b_{\text{espesor}} * a_{\text{ancho}}$
- $I_{\text{inercia}} = 8,030 * 10^7 \text{ [mm}^4\text{]}$
- $A = 8324 \text{ [mm}^2\text{]}$
- $a_{\text{ancho}} = 262,2 \text{ [mm]}$
- $\frac{Sy_{A-572}}{F_{\text{factor de seguridad de la columna}}} = \frac{R1}{A_{\text{area}}} + \frac{M_{\text{max}} * (\frac{a_{\text{ancho}}}{2})}{I_{\text{inercia}}}$

Se obtuvo un valor de ancho “a” de 262,2 [mm], para el diseño de la columna se aproxima este dato a 265 [mm], el espesor a usar es de 31.75 [mm].

Para el análisis estático de la columna se usó la formula razón de esbeltez del capítulo 14 Columnas del libro resistencia de materiales aplicada, con el objetivo de validar su resistencia al momento de aplicar la carga.

- $SR = \frac{K*L}{r} = \frac{L_e}{r}$
- $r = \frac{a}{\sqrt{12}}$ para una sección transversal cuadrada
- $Le = K*L$

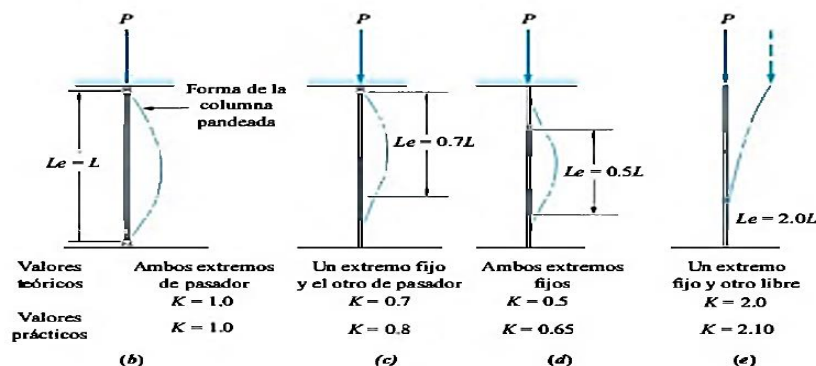
Simbología:

- ✓ K=factor de fijación de los extremos
- ✓ Le=longitud de efectiva, teniendo en cuenta la manera de fijar los extremos
- ✓ r=radio de giro mínimo de la sección transversal de la columna.
- ✓ L= Longitud real de la columna entre los apoyos o de restricción lateral.

Según sea el caso del pandeo de columna el valor K varia. A continuación, se puede observar algunos tipos de pandeo que puede sufrir una columna según el tipo de pasadores a usar.

Figura 39.

Razones de esbeltes.



Nota. Figura extraída del libro resistencia de materiales aplicada (Mott, 2000)- pag 515.

De la figura anterior se toma K “factor de fijación de los extremos”, un extremo fijo y el otro de pasador para el diseño de la columna a usar.

$$\checkmark \quad L_e = 0,8 * L \text{ "un extremo fijo y el otro pasador"}$$

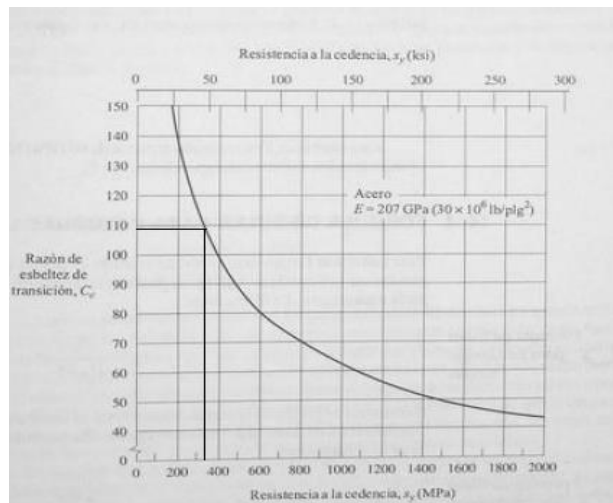
Para la columna se estableció la longitud $L=2100[\text{mm}]$, un ancho de $265 [\text{mm}]$ y espesor de $31,75 [\text{mm}]$.

- $r = \frac{265}{\sqrt{12}} [\text{mm}] = 76,5 [\text{mm}]$
- $SR = \frac{0,82 * 265 [\text{mm}]}{76,5 [\text{mm}]} = 21,96$

Encontrando la razón de esbeltez, se recurre a encontrar la constante de columna para considerarla si es una columna larga o corta, dependiendo de lo anterior se aplica la fórmula de Euler o Johnson para encontrar la carga crítica, se usó la gráfica resistencia a la cedencia para obtener la constante de columna C_c .

Figura 40.

Razón de esbeltez de transición C_c contra resistencia a la cedencia del acero.



Nota. Figura extraída del libro resistencia de materiales aplicada, (Mott, 2000), pag 519

Según la figura se encontró que el C_c es aproximadamente a 108 y se compara la relación de esbeltez “SR” con C_c , si SR es menor que C_c se considera como columna corta, en caso contrario será larga.

$$SR = 21,96 ; C_c \cong 108$$

- $SR < C_c$
- $21,96 < 108$

Se observo que la relación SR es menor que la contante C_c por lo cual es una columna corta, se aplicó la fórmula de J. B. Johnson para encontrar la fuerza critica de la columna.

- $P_{cr} = A * Sy_{A-572} * \left(1 - \frac{Sy_{A-572} * (L_e/r)^2}{4 * \pi^2 * E}\right)$

✓ Pcr=Carga critica de pandeo

- $P_{cr} = 8324 * 345 * \left(1 - \frac{345 * (21,96)^2}{4 * \pi^2 * 207 * 10^9}\right)$

- $P_{cr} = 2844000 [N]$

Teniendo la carga critica de pandeo y el factor de seguridad de la columna se obtiene la carga permisible.

- $P_{pr} = \frac{P_{cr}}{F_{\text{factor de seguridad columna}}}$

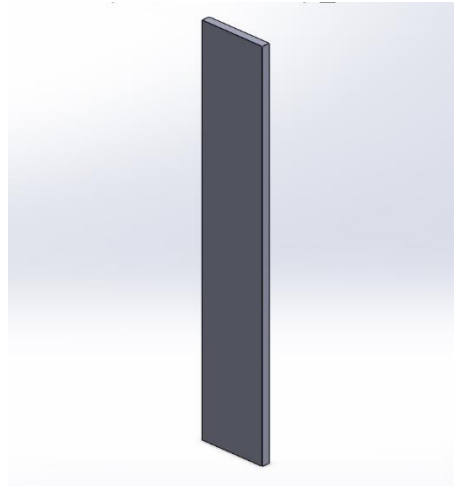
✓ P_{pr} = la carga permisible

- $P_{pr} = 1367000[N]$

Después de encontrar las dimensiones, la carga critica se procede a diseñar la columna mediante el programa SolidWord.

Figura 41.

Modelado de la columna por el programa SolidWord

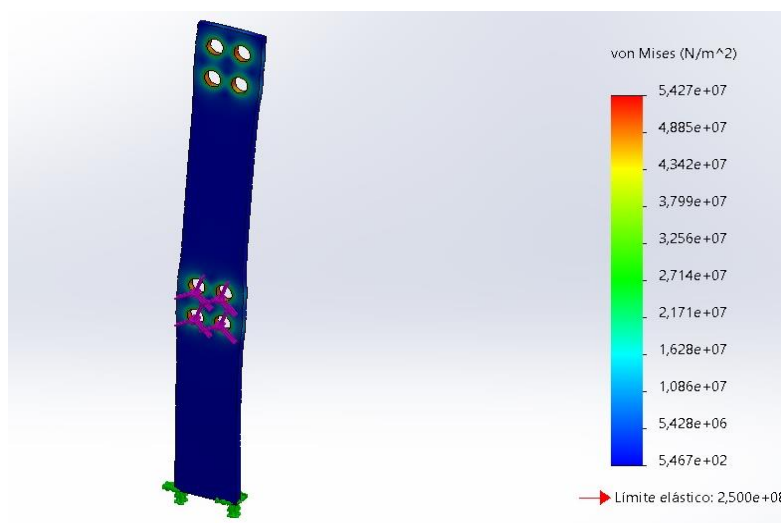


Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Posterior al diseño de la columna modelado en SolidWork, se hace la simulación para validar la flexión o pandeo de la columna con la carga ejercía de 50 ton. (Para mayor detalle ver archivo planos prensa hidráulica para manteca de cacao)

Figura 42.

Simulación de la viga por el programa SolidWord.



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

En la figura 42 se evidencia que la columna cumple con los criterios de resistencia y capacidad de carga especificados en el diseño, puede soportar las cargas aplicadas sin exceder los límites de deformación de $2,500e+08$ (N/m²).

5.2.3.2.3 Cálculos de los pernos. Para calcular el diámetro de los pernos a utilizar, se tomó como base los conceptos del capítulo 20. Bastidores de máquina, conexiones atornilladas y unión soldadas del libro Diseño de elementos de máquinas “4 edición” escrito por ROBERT L. MOTT P.E.

Para este análisis se decidió utilizar 4 pernos después de hacer varias interacciones en el programa EES licencia educativa, variando la cantidad de estos, donde se observó que la opción más apta para usar en el diseño son 4 pernos, por geometría y por tener un menor diámetro. Se realiza un análisis dinámico y diagrama de cuerpo libre al perno.

Figura 43.

Sección izquierda de bastidor.

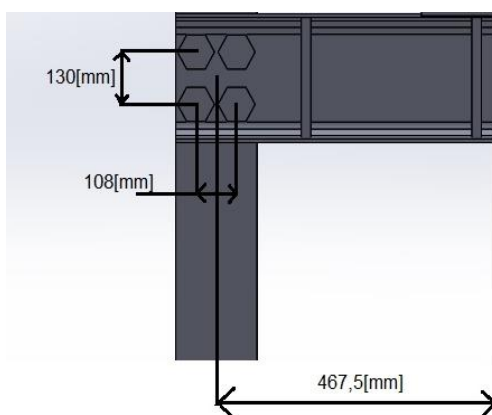
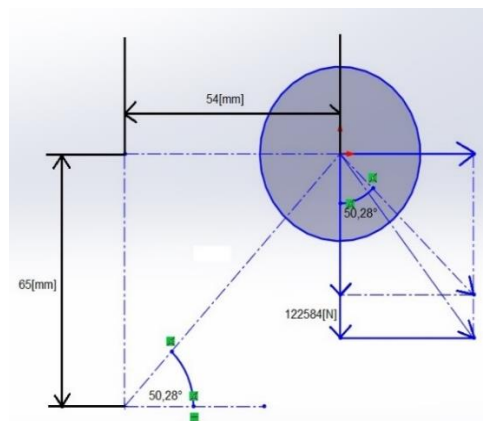


Figura 44.

Diagrama de cuerpo libre del perno.



Nota. Figuras elaboradas por los autores del proyecto

- $N_{perno} = 4$

- $P_{cargadecorte} = 245166[N]$

- $P_{perno} = 61292 [N]$
- $D_{centro} = 467,5 [mm]$
- $M_{resul} = 114600000 [N * mm]$
- $C_X = 54 [mm]$
- $C_Y = 65 [mm]$
- $\theta = 50,28^\circ$
- $r_d = 84,5 [mm]$
- $\sum r^2 = 28564 [mm^2]$
- $F_{sobreperno} = 339080 [N]$
- $F_X = 260812 [N]$
- $F_Y = 216685 [N]$
- $F_{Ytot} = 277976 [N]$
- $F_{resultanteperno} = 381174 [N]$

Simbología:

- ✓ $N_p =$ Numero de perno a usar
- ✓ $P_{cargadecorte} = R1$ "Fuerza resultante"
- ✓ $P_{perno} =$ carga por perno
- ✓ $D_{centro} =$ distancia de la carga ejercia de 50 tn
- ✓ $M_{resul} =$ momento que resiste el conjunto de perno
- ✓ $C_Y =$ centroide en Y
- ✓ $C_x =$ centroide en X
- ✓ $r_d =$ Distancia radial
- ✓ $\sum r^2 =$ suma de los cuadrados de todas las distancia radiales
- ✓ $F_X =$ fuerza del perno en el eje X
- ✓ $F_Y =$ fuerza del perno en el eje Y
- ✓ $F_{Ytotal} =$ fuerza total del perno en el eje Y
- ✓ $F_{resultante} =$ fuerza resultante perno

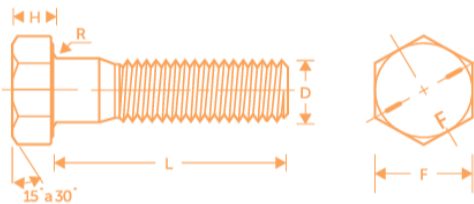
Obteniendo la fuerza resultante perno, se encontró el diámetro de cada perno.

- $\sigma_{esf.cortante admisible} = 723 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
- $A_{perno} = 1672 [mm^2]$
- $d_{perno} = 31,16 [mm]$

Con los datos encontrado teóricamente se escogió un diámetro estándar de 1-1/8 pulg (28,575 milímetros).

Figura 45.

Ficha técnica del tornillo milimétrico hexagonal de rosca parcial.



Nota. Nota. Figura extraída del catálogo de tornillería (FEM S.A.S, 2020) pag. 13

Tabla 11.

Dimensiones del tornillo de cabeza hexagonal

D Diámetro (Diameter)	Hilos por pulgada (Threads per inch)		F Distancia entre caras (Width across flats)	H Altura de la cabeza (Head height)
	R.O. (COARSE)	R.F. (FINE)		
1/4	.250	20	7/16	5/32
5/16	.312	18	1/2	13/64
3/8	.375	16	9/16	15/64
7/16	.437	14	5/8	9/32
1/2	.500	13	3/4	5/16
9/16	.562	12	13/16	23/64
5/8	.625	11	15/16	25/64
3/4	.750	10	1-1/8	15/32
7/8	.875	9	1-5/16	35/64
1	1.000	8	1-1/2	39/64
1-1/8	1.125	7	1-11/16	11/16
1-1/4	1.250	7	1-7/8	25/32
1-1/2	1.500	6	2-1/4	1-5/16

Nota. Nota. Figura extraída del catálogo Tornillería (FEM S.A.S, 2020). pag. 13

Se seleccionó un tornillo de 1- 1/8 pulg, de dimensiones de 28.575 mm y largo de 100 mm para soportar las uniones de la viga y columna

5.2.3.3 Calculo y selección del sistema hidráulico. En esta sección se determinarán todos los componentes hidráulicos necesarios para conseguir el prensado del licor de cacao.

5.2.3.3.1 Selección del cilindro hidráulico. Para la selección del cilindro hidráulico se debe calcular la capacidad de carga nominal, con la fuerza necesaria para el prensado que es de 378602 [N] usando la ecuación:

- $F = m * g$
 - ✓ F: fuerza requerida =378602 [N]
 - ✓ m: Capacidad del cilindro hidráulico en kg
 - ✓ g: Aceleración de la gravedad: 9.81 [m/s²]
 - ✓ despejando m y reemplazando tenemos
 - ✓ $m=378602 [N] /9.81=38593 \text{ kg} =42,6 \text{ ton}$

mediante el criterio de área efectiva del cilindro seleccionaremos el grupo hidráulico a utilizar, para ello encontremos tres tipos de grupos (información tomada del link: <https://guide.directindustry.com/es/que-grupo-hidraulico-elegir/>)

- ✓ Microgrupos hidráulicos: presentan caudales de 5 lpm y presión máxima de 250 bares
- ✓ Minigrupo hidráulico: ofrecen caudales de 30 lpm y una presión máxima de 350 bares
- ✓ Grupos hidráulicos estándar: ofrecen caudales de 100 lpm y una presión máxima de 700 bares

En nuestro caso trabajaremos con el grupo hidráulico estándar la cual ofrece una presión máxima de aproximadamente 10000 psi ya que la prensa deberá de trabajar con presiones de hasta 500 bares.

Con la siguiente ecuación y usando la presión de 10000 psi hallaremos el área efectiva (A_f)

- $P_w = \frac{F}{A_f}$

Donde:

- ✓ P_w : presión de trabajo de la bomba: 10000 psi
- ✓ F : fuerza requerida: 378602 [N]
- ✓ A_f : área efectiva mínima del cilindro hidráulico.

Despejando el A_f y reemplazando tenemos:

$$A_f = \frac{378602}{10000 * \frac{N/m^2}{1,45 \times 10^{-4} psi}} = 0,00549 [m^2] = 8,51 [in^2]$$

Para seleccionar el cilindro hidráulico debemos usar la altura efectiva del vaso de extracción el cual es de 330 mm para una capacidad másica máxima de 3 kg de licor de cacao.

La tabla 14 se muestra el cilindro de doble efecto existente en el mercado. (Hi-force).

Tabla 12.

selección de cilindro hidráulico, catalogo Hi-Force

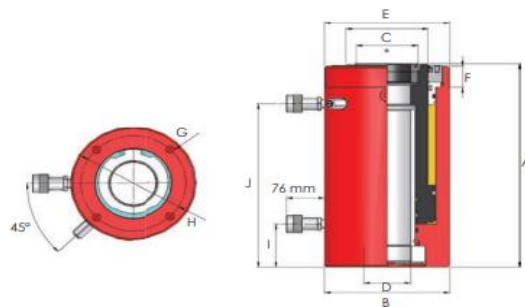
Número de modelo	Capacidad (toneladas)		Carrera (mm)	Capacidad de aceite (cm ³)	Área efectiva del cilindro (cm ²)	Peso (kg)	Dimensiones (mm) (a menos que se especifique otra cosa)									
	Empuje	Trocción					A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
HHR302	33	24	51	238	46.7	12.2	180	115	60.3	35	4 1/4"-12 UN	40	M8	92	28	119
HHR306	33	24	150	701	46.7	17.6	279	115	60.3	35	4 1/4"-12 UN	40	M8	92	28	218
HHR3012	33	24	305	1424	46.7	25.7	434	115	60.3	35	4 1/4"-12 UN	40	M8	92	28	373
HHR603	61	38	76	652	85.7	30.6	239	160	92	55	6 1/4"-12 UN	45	M12	130	31	166
HHR606	61	38	152	1304	85.7	41.6	315	160	92	55	6 1/4"-12 UN	45	M12	130	31	242
HHR6010	61	38	254	2179	85.7	52.5	417	160	92	55	6 1/4"-12 UN	45	M12	130	31	344
HHR1003	102	43	76	1087	143.1	68.5	310	213	140	80	8 1/4"-12 UN	40	M16	178	82	234
HHR1006	102	43	152	2174	143.1	90.0	386	213	140	80	8 1/4"-12 UN	40	M16	178	82	310
HHR1508	152	71	203	4320	212.8	170.0	503	270	184	102	n/a	n/a	n/a	n/a	98	389
HHR2508	247	76	203	7039	346.5	269.0	505	350	254	150	n/a	n/a	n/a	n/a	98	389

Nota: En caso de seleccionar estos cilindros, para usarlos con los sistemas de elevación sincronizada SLF y SLV con sus kit de montajes asociados, por favor considere el incremento en la dimensión A (altura cerrada), vérf páginas 43 y 47.

Nota. Figura extraída del catálogo hi-force hydraulic tools pag 12

Figura 46.

Imagen representativa del cilindro hidráulico según del catálogo Hi-Force



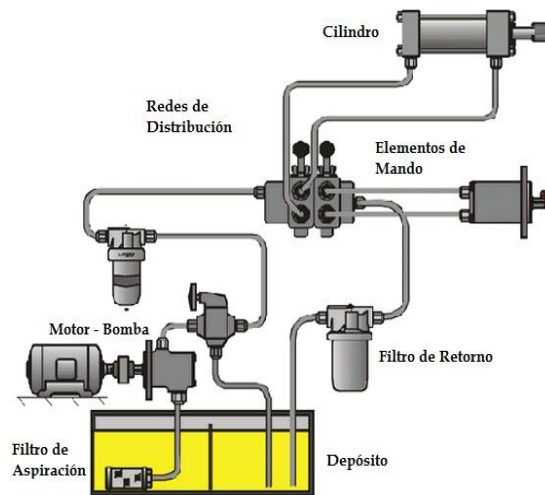
Nota. Figura extraída del catálogo hi-force hydraulic tools pag 12

Se selecciono un cilindro de capacidad de empuje de 60 toneladas y una carrera de 76 mm ya que el anterior a este solo tiene una capacidad de empuje de 33 toneladas y se requieren 43 toneladas de empuje.

5.2.3.3.2 Selección de conjunto de potencia hidráulica. Un circuito hidráulico consta de 3 parte claves: el grupo generador de presión, el sistema de mando y el actuador.

Figura 47.

Ilustración componentes de una prensa hidráulica



Nota. Figura obtenida de (ConforempresariaL, 2019).

En la figura 47 observamos una ilustración de los componentes principales necesarios para el funcionamiento de la prensa.

Para determinar la especificación de cada elemento del grupo de generador de presión primero se debe hallar el volumen necesario para realizar el trabajo de prensado.

- $V_r = N * V_C$

Donde:

- ✓ V_r : volumen de aceite requerido
- ✓ N : factor de trabajo= 2 para jornadas de trabajo mayores a 1 hora
- ✓ V_c : Volumen de aceite del cilindro en una carrera completa.

De la tabla 12 obtenemos el volumen de aceite (Vc) el cual es de 652 [cm³] para el cilindro preseleccionado, reemplazando en la formula anterior tenemos que el volumen de aceite requerido será de:

$$V_r = 2 * 652 = 1304[cm^3] = 0,345 [gal]$$

Para seleccionar la bomba hidráulica observaremos en el catálogo de bombas hidráulicas de Power Team el cual nos da una tabla donde podremos seleccionar nuestra bomba teniendo en cuenta el tonelaje de trabajo y el tiempo que le es necesita para mover el pistón en segundos, para ello tendremos en cuenta las recomendaciones del catálogo. (team, 2019)

Tabla 13.

Selección de bomba hidráulica, catalogo PowerTeam

Los directivos siguientes son para aplicaciones generales de elevación y construcción. Las herramientas hidráulicas, extractores y prensas pueden no seguir dichas recomendaciones. Compruebe siempre que la "capacidad de depósito utilizable" supere la capacidad de aceite de los cilindros.

Generalmente recomendado ■

Requisitos de comprobación marginales ■

No recomendado para la mayoría de aplicaciones ■

	Presión	Etapa	CAPACIDAD DEL CILINDRO (TONELADAS)														
			5	10	15	20	25	30	55	75	100	150	200	300	400	500	
Bombas manuales *	P12 ‡	Simple	14	32	44	55	72	93									
	P55 ‡	Simple	6	14	19	28	31	40	71								
	P19(L)	Baja	4	8	10	15	17	21									
		Alta	13	30	42	59	68	86									
	P59F	Baja	1,8	4,1	5,7	8	9	12	20	29							
		Alta	8	17	24	34	48	50	85	122							
	P59(L) ‡	Baja	1,5	3,2	4,7	7	7,7	9,7	16,7	23,9							
	P157(D) ‡	Alta	6	14	19	28	31	40	71	101							
	P159(D) ‡	Baja	0,5	1	1,3	1,9	2,2	2,8	5	7	9	13	18				
	P300(D) ‡	Alta	7	15	21	30	34	43	77	110	143	200	250				
P460(D) ‡	Baja	0,1	0,3	0,6	0,6	0,7	0,9	1,5	2,2	2,8	4,2	5,6	8,4	11,2			
	Alta	3,3	7,7	9	14	17,5	22	37	55	71	105	143	213	284			
Bombas eléctricas/hidráulicas †	PB10 / PE10	Baja	0,5	1,2	1,6	2,2	2,6	3,2	5,5								
		Alta	6	13,4	18,9	27	31	39	66,2								
	PE17 ‡	Baja	0,2	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	2,3	3,3	4,3	6,5	8,7				
		Alta	3,5	7,9	10,9	16	18	23	39	56,3	73	109	146				
	PE18	Baja	0,4	0,8	1,2	1,6	1,8	2,3	3,9	5,7	7,3	10,8	14,6	21,9	29,2		
		Alta	3,3	7,5	10,3	15	17	21	37	53	69	102	136	207	276		
	PE21 ‡	Baja	0,2	0,5	0,7	1,0	1,1	1,4	2,5	3,6	4,6	6,8	9,2	13,8	18,4		
		Alta	2,8	6,4	9	13	15	19	32	45,5	59	88	118	177	236		
	PED25	Baja	0,2	0,4	0,6	0,9	1,0	1,3	2,2	3,2	4,1	6,1	8,3	12,0	15,7	19,9	
		Alta	2,4	5,4	7,5	10,6	12,4	15,6	26,5	38,2	49,5	73,3	99,1	144,3	188,5	238,6	
	PE30 ‡	Baja	0,2	0,45	0,6	0,9	1	1,3	2,2	3,2	4,1	6					
		Alta	2	4,5	6	9	10	13	22	32	41	60					
	PE46 ‡	Baja	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,3	1,8	2,4	3,5	4,7	7,2	9,6		
		Alta	1,3	2,9	4,1	5,9	6,8	8,6	14	22	28	42	56	84	112		
	PE55 ‡	Baja	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,6	0,9	1,4	1,8	2,6	3,5	5,4	7,2		
		Alta	1,4	2,4	3,4	4,8	5,6	7,1	12	17,8	23	34	45	69	92		
	PE60 ‡	Baja	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,9	1,3	1,7	2,5	3,4	5,1	6,8	8,5	
		Alta	1	2,2	3,3	4,4	5,2	6,5	11	16,2	21	31	41	63	84	105	
PQ60	Baja	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,9	1,3	1,7	2,5	3,4	5,1	6,8	8,5		
	Alta	0,5	1,1	1,6	2,2	2,6	3,2	5,5	7,7	10	15	21	30	40	50		
PE400	Baja	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,6	8	1	1,5	2,1	3	4	5		
	Alta	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,6	2,2	2,9	4,4	5,9	8,7	11,6	14,5		

Nota. Figura extraída del catálogo PowerTeam- SpxFlow pag 9

Como se observa en la tabla 13 se seleccionó una bomba eléctrica PE-21, ya que la presión máxima que se busca trabajar es de 50 toneladas, y por recomendaciones de manual es la primera opción que nos muestra la tabla.

Por otro lado, para el proceso de selección el equipo de potencia hidráulica se tendrá en cuenta los siguientes datos del cilindro hidráulico.

- Área de eficiencia (Af) = 85,7 [mm]
- Capacidad de fuerza = 539365.75 [N]
- Precio= 2.416,67 \$

Las características del cilindro de encuentran en los anexos 1

Figura 48.

Conjunto de potencia hidráulica, catalogo PowerTeam. (team, 2019)



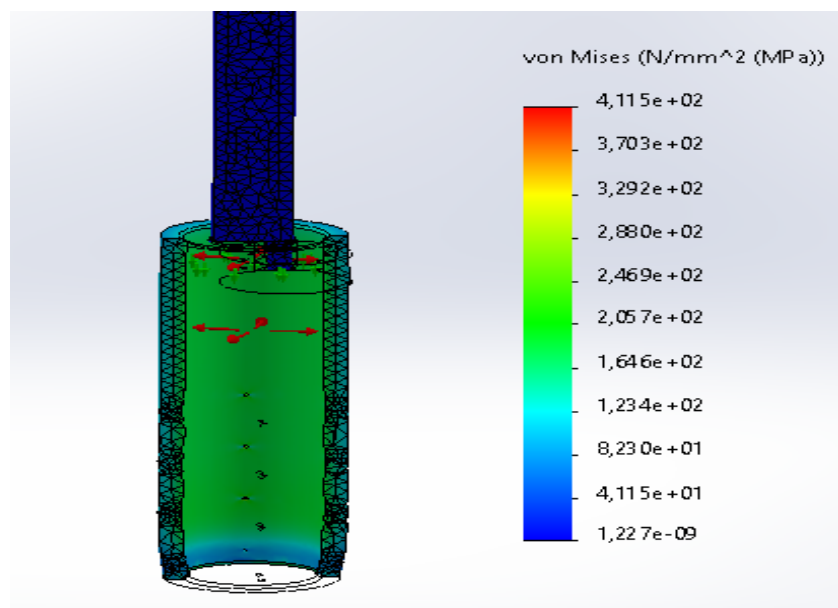
Nota. Figura extraída del catálogo PowerTeam- SpxFlow pag 80

Bomba eléctrica de dos velocidades simple y doble efecto.

5.2.3.4 **Simulación de los subconjuntos.** En la figura 48 se presenta una simulación de las deformaciones en el funcionamiento de la recámara de compresión y sus esfuerzos bajo una presión de 45 [Mpa].

Figura 49.

Simulación de cargas de la Recámara de compresión, Software SolidWorks



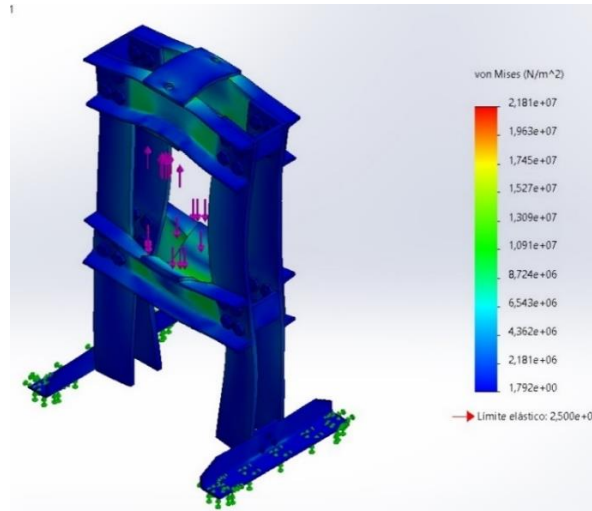
Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

En la figura 49 podemos observar que los esfuerzos se mantienen entre 200 y 40 Mpa por debajo del esfuerzo de fluencia el material, para una presión máxima de 45 Mpa.

En la siguiente figura se presenta la simulación de la estructura metálica que soportara las reacciones de las cargas sobre la recámara de compresión y las ejercidas por el cilindro hidráulico.

Figura 50.

Simulación de la estructura, Software SolidWorks

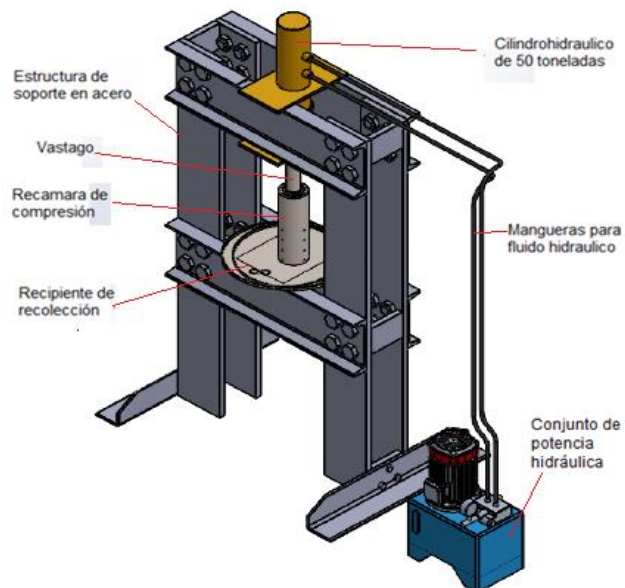


Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

En la siguiente figura se presenta el ensamblaje final de la prensa diseñada

Figura 51.

Ensamble prensa hidráulica extractora de manteca de cacao



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Todos los elementos seleccionados de catálogos como el cilindro hidráulico, mangueras y el conjunto de potencia hidráulica son simbólicos descargados de la plataforma GRABCAD, esto para realizar un ensamble completo de los elementos diseñados y facilitar su comprensión.

5.2.4 Fase 4. Construcción y pruebas de calidad del producto obtenido junto a su manual de uso.

En esta fase para la construcción de un modelo funcional a escala se utilizó como apoyo la prensa del taller de metalmecánica Simek SAS, la cual tiene la misma capacidad de tonelaje del equipo diseñado, y con el fin de hacer uso de este y a su vez reducir los costos de las pruebas de funcionamiento de la recámara de compresión del equipo.

5.2.4.1 Cilindro de presión. En las figuras 52, se presentan una vista lateral del cilindro por donde se puede apreciar el orificio de salida de la manteca de cacao y la figura 52 se puede ver una vista isométrica donde se observa la placa de filtrado en el asiento de la recámara de compresión.

Figura 52.

Recámara de compresión y modelo.



Nota. Figuras elaboradas por los autores del proyecto

5.2.4.2 Tapa inferior de extracción de manteca de cacao. En las figuras 53 se presentan una vista isométrica y una lateral de la placa filtrante son se aprecian los canales superiores y laterales por donde fluiría la manteca de cacao. También se puede apreciar el oring para evitar filtraciones indeseadas de manteca de cacao.

Figura 53.

Tapas de filtrado - Subsistema vástago – embolo (piston)



Nota. Figuras elaboradas por los autores del proyecto

En la figura 54 se muestra un ensamble del pistón conformado por el embolo, vástago, bridas de acople y sus respectivos tornillo prisioneros.

Figura 54.

Subconjunto Pistón.



Nota. Figura elaborada por los autores del proyecto

5.2.4.3 Ensamble. En la figura 55 y 56 se presenta un mala de acero inoxidable para ayudar a filtrar las partículas más grandes de cacao, la recamara de compresión con la tapa filtrante instalada en su parte inferior y el ensamble del pistón, en la figura 56 se presenta su ensamble.

Figura 55.

Subconjuntos. recamara de compresión.



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Figura 56.

Ensamble subconjunto recamara de compresión



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

5.2.4.4 Pruebas del modelo a escala. A continuación, se presenta el proceso que se siguió para realizar las pruebas de funcionamiento del equipo.

- ✓ Primero se derrite el chocolate, para este proceso se planteaba usar una faja térmica sobre el cilindro de presión, pero debido a los sobre costos se optó por hacer de forma directa en un recipiente y la implementación de un soplete ver figuras 57 y 58.

Figura 57.

Licor de cacao.



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

Figura 58.

Proceso de fundición del licor de cacao.



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

En la figura 57, se puede observar el licor de cacao que se utilizó, este licor de cacao fue obsequiado por las instalaciones de guarigua de la universidad industrial de Santander, como se mencionó anteriormente para el calentamiento del licor de cacao se implementó un soplete en sustitución de la faja térmica y un cucharón para batirlo. El calentamiento se realizó hasta el punto en el que estuvieran derretido el medio kilo de licor de cacao.

- ✓ Segundo paso se acomoda las telas de filtrado

Figura 59.

Montaje de los filtros dentro de la recamara de compresión.



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

En la figura 59, se muestra la adecuación de las telas filtrantes, el material usado fueron 4 capas de tela de poliéster, una tela adicional de filtrado de café tradicional. Se deja sobresalir tela suficiente para poder encerrar el licor de cacao sin que se filtre por la parte superior.

- ✓ Tercer paso se vierte el licor de cacao derretido previamente dentro de los filtros.

Figura 60.

Vertimiento del licor fundido

**Figura 61.**

Llenado final de licor fundido



Nota. Figuras elaboradas por los autores del proyecto

En las figuras 60 y 61, se prosiguió a llenar la recamara de compresión con el licor de cacao, este proceso se realizó con un cucharon para evitar riegues de material y contaminación de este.

- ✓ En el cuarto paso se cierra los filtros y se introduce el pistón

Figura 62.

Cerrado de los filtros.



Figura 63.

Cerrado de la recamara de compresión.



Nota. Figuras elaboradas por los autores del proyecto

En las figuras 62 y 63, se observa el cerrado de los filtros y el montaje del pistón, este proceso se realiza por fuera de la prensa para para mayor comodidad y evitar contaminantes antes del proceso.

- ✓ Para el quinto paso se introduce la recamara de presión dentro de un recipiente para captar la manteca de cacao extraída y se lleva a la prensa de 50 toneladas.

En la figura 64, se introduce nuestra recamara de compresión dentro de un recipiente para la recolección de la manteca de cacao y evitar los contaminantes superficiales.

Figura 64.

Montaje de la recamara de compresión sobre el recipiente de recolección

**Figura 65.**

Montaje de la recamara de compresión en la prensa hidráulica



Nota. Figuras elaboradas por los autores del proyecto

Posterior mente se lleva el recipiente con la recamara de compresión a la prensa de 50 toneladas. En las figuras 66 y 67 se puede observar la presión a la que se llevó la prensa y el momento de máxima compresión en la recamara de compresión.

Figura 66.

Barómetro de la prensa hidráulica

**Figura 67.**

Compresión total de recamara



Nota. Figuras elaboradas por los autores del proyecto

- ✓ Para el sexto paso se retira la recamara de presión de la prensa y se extrae el pistón para poder obtener la torta de cacao.

Figura 68.

Extracción de la recamara de compresión del recipiente de recolección



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

En la figura 68 se observa la extracción de la recamara de compresión del recipiente utilizado para la recolección de la manteca de cacao.

Figura 69.

Desmontaje del pisto de la recamara de compresión.



Nota. Figura elabora por los autores del proyecto

En la figura 69 se retira el pistón para extraer la torta de cacao.

Figura 70.

Residuo de la Extracción de la torta de cacao



Nota. Figuras elaboradas por los autores del proyecto

En las figuras 70, se muestra el resultado del prensado, aquí se observan dos cosas importantes:

- La recámara de compresión permitió la separación de la torta y la manteca de cacao.
- La manteca de cacao obtenida evidentemente presenta gran cantidad de partículas sólidas de cacao, por lo que se concluye que los filtros utilizados no lograron evitar las filtraciones de partículas de cacao, debido a el tamaño de partículas del licor utilizado era de 15 micras, lo que no ayudo a su filtración completa.

6. ANÁLISIS DE COSTOS

En esta sección se mostrarán todos los costos de materiales, fabricación y compra de los equipos hidráulicos de toda la prensa.

En la table 14 se presentan los costos de todos los materiales requeridos para la fabricación de las piezas diseñadas y también el costo de las piezas estandarizadas como, tornillos, tuercas, empaques etc.

Tabla 14.

Presupuesto construcción de la prensa

TABLA DE COSTOS DE MATERIALES PARA LA RECAMARA DE COMPRESIÓN, DATOS DEL PROVEEDOR “DETODOBRONCE”, BUCARAMANGA.			
Descripción	Cantidad	Costos unitarios	Costo total
Barra de acero inoxidable AISI 304 de 5 [in] diámetro, 396 [mm] largo	1	855.000	855.000,00
Barra de acero inoxidable AISI 304 de 4 1/2 [in] diámetro, 33 [mm] largo	2	118.000,00	236.000,00
Barra de acero inoxidable AISI 304 de 2 3/4 [in] diámetro, 300 [mm] largo	1	213.000,00	213.000,00
Barra de acero inoxidable AISI 304 de 4 [in] diámetro, 10 [mm] largo	1	37.000,00	37.000,00
Tornillos brístol acero inoxidable	4	900	3.600,00
Oringde nitrilo de 3mm de de espesor y de 100 [mm] de diámetro	2	2.300,00	4.600,00
Tela de poliéster 10 metros	1	16000	16.000,00
Malla de acero inoxidable de 200 mesh	2	90.873,14	181.746,28
Cilindro hidráulico	1	10.000.000,00	10.000.000,00
Sistema de bombeo hidráulico	1	11.200.000,00	11.200.000,00
Calentador térmico tipo camisa	1	380000	380.000,00
Lamina de acero A-572 1.22 x 2.44 M espesor 37.5 mm	1 unid	11335000	11.335.000
Tornillo de cabeza hexagonal 1-1/4” x 3-3/4”	40 unid.	28000	1.120.000
Acero - Perfil UPN 300 de 3M de largo	2 unid.	1.515.065,46	3.030.130,92
Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica y mano de obra	80hr	45.000	3.600.000
Total			38.615.677,20

Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

En la table 15 se presentan los costos de mecanizado para la fabricación de las respectivas piezas diseñadas de la recamara de compresión.

Tabla 15.

Tabla de costos de materiales para la recamara de compresión

TABLA DE COSTOS DE MATERIALES PARA LA RECAMARA DE COMPRESIÓN, DATOS DEL PROVEEDOR “DETODOBRONCE”, BUCARAMANGA.		
DESCRIPCIÓN	PIEZA	COSTOS CORTES Y MECANIZADO
Barra de acero inoxidable AISI 304 de 5 [in] diámetro, 396 [mm] largo	Recamara de compresión	500.000,00
Barra de acero inoxidable AISI 304 de 4 1/2 [in] diámetro, 33 [mm] largo	Embolo	60.000,00
Barra de acero inoxidable AISI 304 de 4 1/2 [in] diámetro, 33 [mm] largo	Tapa inferior de filtrado	190.000,00
Barra de acero inoxidable AISI 304 de 2 3/4 [in] diámetro, 300 [mm] largo	Vástago	270.000,00
Barra de acero inoxidable AISI 304 de 4 [in] diámetro, 10 [mm] largo	Acople	40.000,00
Total		1'060.000,00

Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

En la table 16 se muestran los costos varios en todo el proceso del desarrollo de la tesis de grado.

Tabla 16.*Presupuesto recursos varios.*

PRESUPUESTO NECESARIO PARA LA REALIZACION DEL PROYECTO					
Rubro	Descripción	Costo unitario	Unitario	Costo total	Financiación
Gastos generales					
Internet	Gastos en conexión a internet para búsqueda de información y elaboración del proyecto	85.000	12 meses	\$ 1.020.000	personal
Papelería	Toda documentación que necesite ser impresa, copias y papelería	100.000	1	\$ 100.000	personal
Bibliográficas		550.000	1	\$ 550.000	personal
Subtotal				\$ 1.670.000	
Honorarios					
Asesoría del director	Pago de horas de asesorías dictadas por el director de proyecto	55.000	36 horas	\$ 2.000.000	Especie UIS
Estudiante	Horas dedicadas al proyecto por los estudiantes	8.000	360 horas	\$ 2.880.000	Especie UIS
Subtotal				\$ 4.880.000	
Gastos de equipos y licencias					
Equipo de computo	PORTATIL ASUS TUF CORE I5	2.000.000	1	\$ 2.000.000	Personal
	PORTATIL DELL INSPIRON 14-3000 CORE I3	1.500.000	1	\$ 1.500.000	Personal
Licencia	SOFTWARE SolidWorks 2021	2.000.000	1	\$ 2.000.000	Especie UIS
Subtotal				5.500.000	

Imprevisto	15% del total de gastos para imprevistos presentados	\$ 3.760.500	1	\$ 3.760.500	Especie UIS
Subtotal				\$ 3.760.500	
<i>Total, de gastos</i>				<i>15'810.500,00</i>	

Nota. Figura elabora por los autores de proyecto

7. CONCLUSIONES

- Para el diseño y construcción de la prensa se encontró, que construir un prototipo de capacidades 3 kg resultaba alta mente costoso por lo que fue necesario elaborar un diseño, construcción y pruebas de un modelo que permitiera observar el comportamiento del diseño planteado bajo las cargas de entre 30 y 40 toneladas, este modelo evidentemente resulto más económico y confirmo el buen funcionamiento general de la recamara de compresión.
- No obstante, se observó que el filtro implementado en el modelo no cumplió su propósito a cabalidad, debió al tamaño de las partículas del licor usado que eran entre 15 y 20 micras, se logró filtrar el licor de cacao, aunque se obtuvo torta la manteca presentaba impureza.
- Lo que se sugiere la implementación necesaria de una malla de 200 mesh en la cara interior del cilindro y otra sobre la tapa de filtrado.
- Para la construcción del modelo se propuso un diseño sobredimensionado para asegurar el proceso de prensado y de esta forma el diseño del prototipo.

- Al momento de la construcción del modelo se realizaron cambios en el cilindro ya que se agregaron los agujeros de la cara exterior del cilindro, y también se rediseño la tapa de filtrado para asegurar el correcto flujo de expulsión de la manteca de cacao.
- Estos cambios se evidenciaron al momento de realizar el mecanizado por lo que con ayuda del operador se lograron realizar todos los ajustes necesarios. Estos cambios nos ayudaron a asegurar el diseño del prototipo.
- En la realización de las pruebas se vio necesario el cambio de la prensa Instrón planteada, debido a que esta presentaba fallos que no nos permitirían realizar las pruebas por lo que fue necesario implementar la prensa del taller de mecanizado de 50 toneladas. En el proceso se vio que el modelo logro la separación entre la manteca de cacao y la torta, no obstante, la manteca presentaba imperfección debido al filtrado.

Bibliografía

- Asep EKuna, J. S. (2008). Los efectos del tamaño de partícula, fermentación y tostado de cacao puntas en fluido supercrítico extracción de cacao manteca. Revista de ingeniería alimentaria.
- Escobar, R. (2013). Catálogo de maquinaria para procesamiento de cacao. Peru: Ilata SAC.

- Icontec. (26 de 03 de 2008). ICONTEC NTC 486 MASA O PASTA O LICOR DE CACAO Y TORTA DE CACAO PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE CACAO Y CHOCOLATE.
- IBQ. Lucia Guerrero Becerra (2018) Extracción De Los Aromas De Cacao Por Fluidos Supercríticos Y Su Incorporación En Una Película Para Su Uso En Alimentos.
- Luis Javier Manobanda Tutasig (2016) Diseño Y Construcción De Una Máquina Para La Extracción De Aceite De Cacao.
- Icontec. (26 de 03 de 2008).). ICONTEC NTC 486 MANTECA DE CACAO. Colombia.
- Esther. (29 de abril de 2008). chocolatisimo. Obtenido de <https://chocolatisimo.com/tipos-de-cacao/>
- Fedecacao. (2020).Federación nacional de cacaoteros. Obtenido de <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/1272-produccion-de-cacao-llego-a-las-34-889-toneladas-en-el-primer-semester-del-2020#:~:text=Por%20otra%20parte%2C%20las%20exportaciones,mercados%20ya%20posicionados%20como%20M%C3%A9xico.>
- Liendo, R. J. (6 de 09 de 2005). Procesamiento del cacao para la fabricación de chocolate y sus subproductos. Obtenido de/ http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/03/El_Chocolate.pdf
- Minagricultura. (marzo de 2020). Obtenido de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

- Minifie. (1989). CHOCOLATE, COCOA, AND CONFECTIONERY. Van Nostrand Reinhold, 60.
- (Alvarado, Duville, 2020). GUÍA TÉCNICA PARALA ELABORACIÓN DE CHOCOLATE. <https://www.centa.gob.sv/2021/download/guia-tecnica-para-la-elaboracion-de-chocolate/>
- FEM S.A.S, F. E. (2020). Catalogo General de Tornillos. Obtenido de www.FEMSAS.com.
- Hi-force. (s.f.). hydraulic tools. Obtenido de <https://www.hi-force.com/Admin/Content/Spanish-Product-catalogue-HFM1909ES16202011335.pdf>
- Mott, R. L. (2000). Resistencia de Materiales Aplicada, Tercera Edicion. PEARSON.
- STECKERL ACEROS, T.-s. s. (2015). CATALOGO DE PRODUCTOS. Obtenido de www.steckerlacers.com
- Team, P. (2019). SPXFLOW. Obtenido de https://www.spxflow.com/assets/original/PT_Catalog_2019_PT1901_ES.pdf
- Afoakwa. (2010). Chocolate Science and Technology. United Kingdom: Garsington Road.
- ConforempresariaL. (14 de agosto de 2019). ConforempresariaL. Obtenido de <https://www.conforempresarial.com/curso-de-hidraulica/>
- BECKETT, S. T. (2000). La Ciencia del Chocolate, Primera Edicion. ACRIBIA.

ANEXOS

ANEXO A. MANUAL DE OPERACIÓN PARA PRENSA HIDRAULICA

Este manual de operación proporcionará las instrucciones necesarias para operar de manera adecuada la prensa hidráulica utilizada en la extracción de manteca de cacao, incluyendo el funcionamiento de los componentes, los procedimientos de operación, las medidas de seguridad y el mantenimiento requerido.

Indicaciones de seguridad / advertencias

El propietario y/o usuario del dispositivo debe leer y comprender las instrucciones del manual antes de utilizar la prensa hidráulica. El personal encargado de operar la prensa debe ser cuidadoso, competente, haber sido instruido y estar cualificado en el manejo seguro de la maquinaria. Es importante leer y comprender las advertencias contenidas en el manual en todo momento

- Familiarizarse con el control de las aplicaciones, procedimientos y advertencias.
- Asegurarse de que todos los soportes y vigas están bien instalados y seguros.
- Leer y conocer el contenido del manual de utilización.
- No permitir que personas con capacidades físicas, sensoriales o mentales limitadas, personas inexpertas o sin los conocimientos adecuados utilicen la prensa sin supervisión adecuada.

- Informar de inmediato a su supervisor o al personal de taller en caso de un imprevisto.
- Mantenerse concentrado y evitar distracciones durante la operación de la prensa
- No utilizar dispositivos de soldadura cerca de la prensa hidráulica.
- Asegurarse de que la zona de trabajo esté bien iluminada.
- Utilizar equipo de protección personal adecuado durante la operación de la prensa hidráulica, como gafas de seguridad, red para cabello, guantes de protección y calzado de seguridad.
- Quitar cualquier accesorio o joyas antes de utilizar la prensa
- Utilizar la prensa solamente si se siente físicamente capacitado para hacerlo.
- Tomar pausas y mantenerse hidratado para evitar mareos por trabajar en posición erguida durante mucho tiempo.
- No desatornillar ni abrir las uniones de la prensa cuando esté bajo presión o carga.
- Llenar la prensa de aceite hidráulico solamente en su posición inicial y utilizar solo aceite hidráulico, no usar líquidos inadecuados como líquido de frenos, alcohol, glicerina, etc.
- No abrir el cilindro hidráulico por la fuerza ya que está bajo presión.
- No exceder la capacidad de carga de 40 toneladas para evitar dañar la prensa o causar lesiones.
- Mantener las manos y dedos en todo momento alejados de las partes móviles cuando la prensa esté en funcionamiento

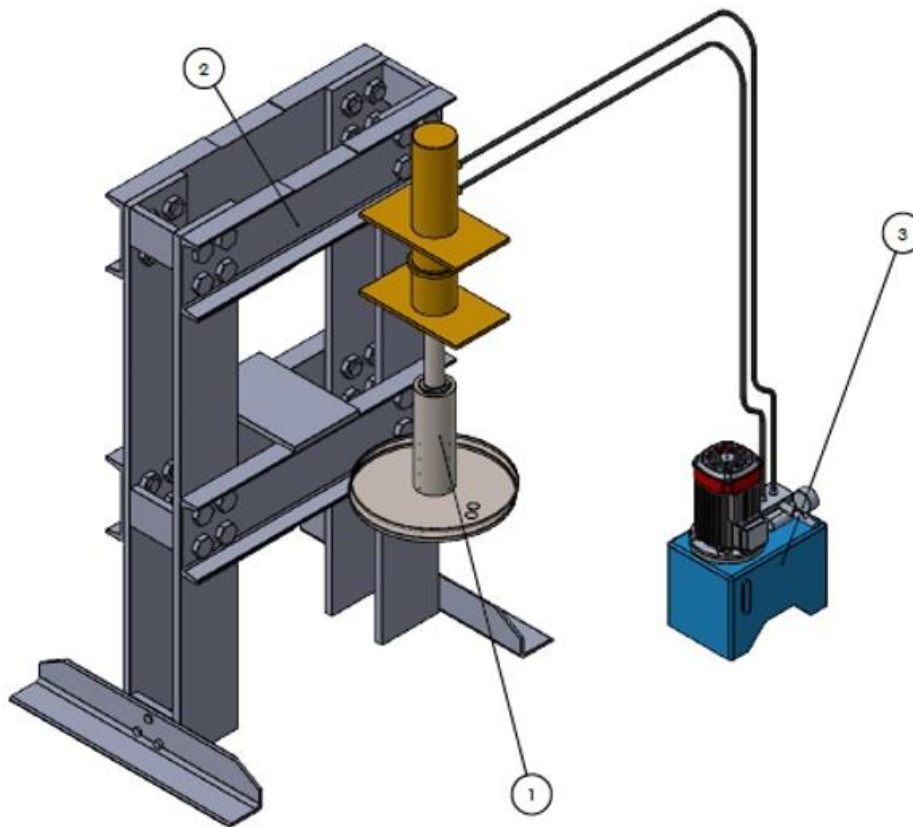
- No interferir en el proceso de prensado, evita intentar mover o ajustar la recámara de prensado mientras la prensa esté en funcionamiento, ya que esto puede causar lesiones o daños.
- Asegurarse de que la prensa esté completamente apagada y que la presión hidráulica se haya liberado por completo antes de realizar cualquier mantenimiento o ajuste para evitar lesiones.
- No desmontar la prensa hidráulica por su cuenta, a menos que esté debidamente capacitado para hacerlo. La prensa hidráulica es una maquinaria compleja que requiere un mantenimiento y reparaciones especializadas.

Control/inspección

- Realizar una inspección visual antes de poner en marcha la prensa hidráulica para detectar fugas, daños o piezas sueltas. Revisar frecuentemente el nivel de aceite y rellenarlo con aceite hidráulico si es necesario, colocar la prensa en la posición inicial para llenar el tanque y retirar la tapa para verificar que el aceite alcance justo la apertura. Además, realizar un cambio de aceite completo al año.
- Lubricar frecuentemente las piezas móviles y comprobar el sistema hidráulico para detectar signos de corrosión o agrietamiento.
- Si es necesario desmontar la prensa para desguace, el aceite debe ser drenado y las partes de la prensa deben ser recicladas según corresponda.

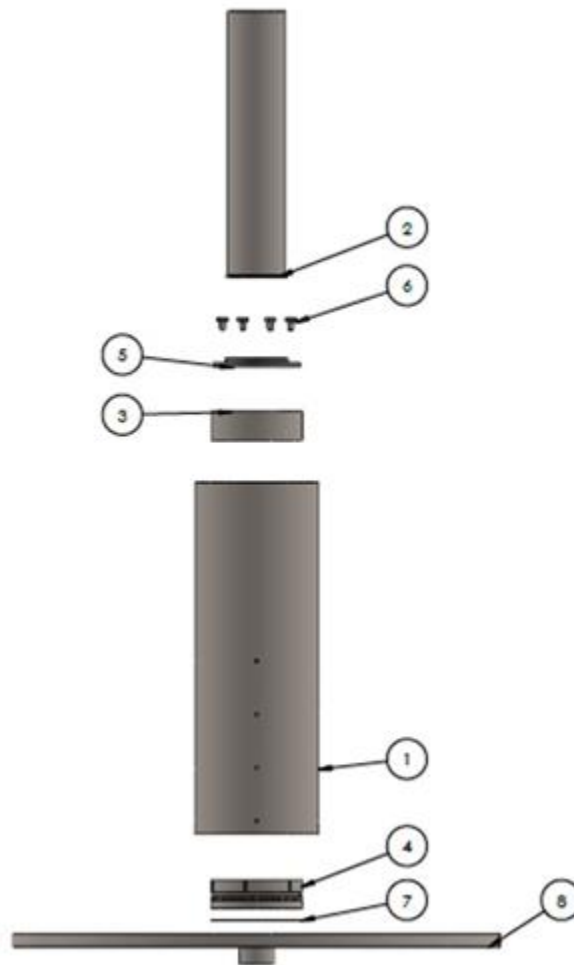
Funcionamiento

1. Colocar la recámara de extracción en el bastidor.
2. Cerrar las válvulas de presión.
3. Accionar el botón de encendido de modo que el émbolo se mueva en dirección a la recámara de extracción.
4. Alinear el émbolo de manera que quede centrado con el depósito de la recámara.
5. Iniciar aplicar presiones bajas sobre la recámara extracción sin sobrecargarla.
6. Esperar que el embolo complete totalmente el recorrido
7. Aliviar la presión de la válvula y estabilizar la pieza para evitar que se desplace
8. Retirar la recámara de extracción del bastidor, cuando el émbolo o pistón haya retrocedido completamente.

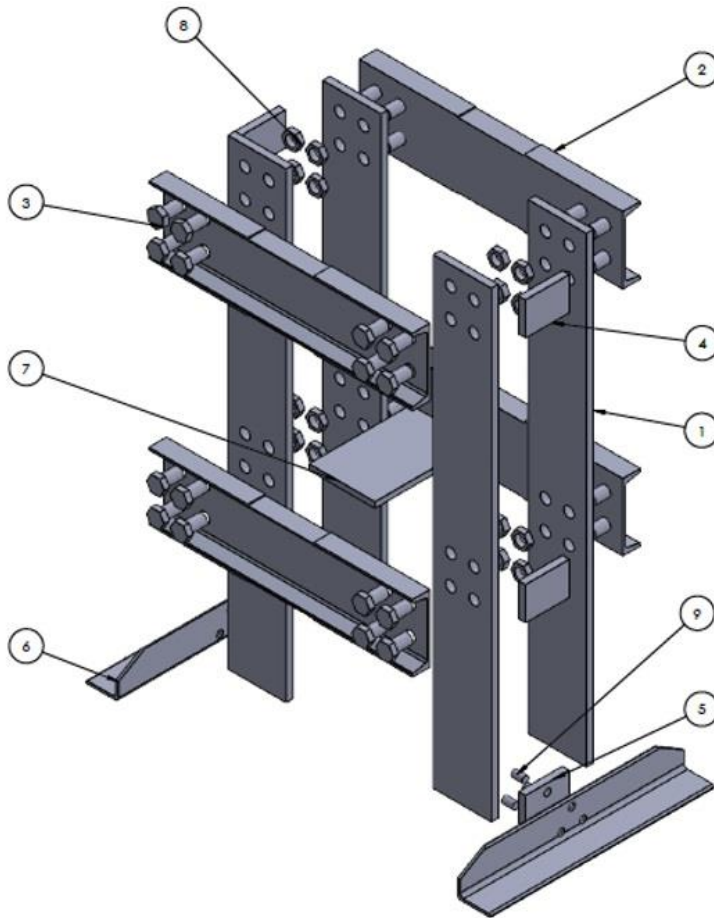
Listas de subconjuntos

Numeración	Nombre
1	Recámara de extracción
2	Estructura de soporte (bastidor)
3	Conjunto generador de potencia hidráulica

(Para mayor comprensión ver archivo “Planos prensa hidráulica para manteca de cacao”)

Listado piezas recamara de compresión

Numeración	Nombre	Cantidad
1	cilindro de compresión	1
2	Vástago	1
3	Embolo	1
4	Tapas de filtrado	1
5	Acople	1
6	Tornillo Bristol	4
7	O'ring de nitrilo	1
8	Bandeja	1

Bastidor

Numeración	Nombre	Cantidad
1	Columna del bastidor	4
2	Viga del bastidor	4
3	Tornillo de cabeza hexagonal 1-1/4" x 3-3/4"	32
4	Platina de apoyo	4
5	Platina de apoyo inferior	2
6	Base de apoyo	2
7	Placa de apoyo de la recamara	1
8	Tuercas hexagonales 1-1/4"	32
9	Tornillo de cabeza hexagonal 1-1/4" x 3-3/4"	6

(Para mayor comprensión ver archivo "Planos prensa hidráulica para manteca de cacao")

ANEXOS B. CONJUNTOS DE BOMBA HIDRÁLICA

► **Información para pedido**

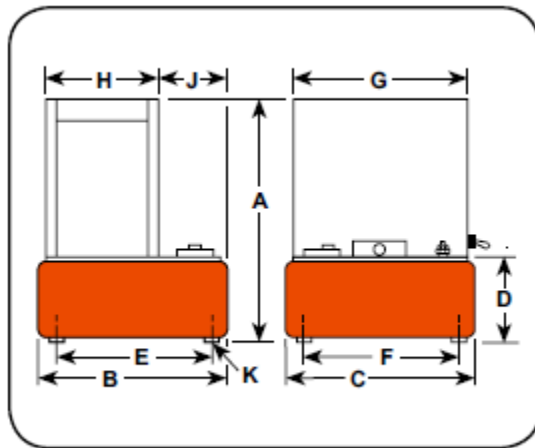
Para usar con tipo de cilindro	Descripción	N.º de pedido	Tipo de válvula	N.º de válvula	Funcionamiento de la válvula	Consumo de Amperios máximo @ 700 †† (bar)	Motor	Capacidad de aceite utilizable en el depósito (L)
Simple efecto	Bomba de 0,75 kW con depósito de 9,5 l y válvula manual.	PE213-50-220	3 vías	9520*	Avance/Parada/Retorno	115 V -15 A 230 V -7,5 A	0,75 kW, 220 V 50 Hz, monofásico	9,4
Simple efecto	PE213, salvo que incluye una válvula remota solenoide.	PE213S-50-220	3 vías	9599†	Avance/Parada/Retorno	115 V -15 A 230 V -7,5 A	0,75 kW, 220 V 50 Hz, monofásico	9,4
Doble efecto	Bomba de 0,75 kW con depósito de 9,5 l y válvula manual.	PE214-50-220	4 vías	9506*	Avance/Parada/Retorno	115 V -15 A 230 V -7,5 A	0,75 kW, 220 V 50 Hz, monofásico	9,4
Doble efecto	PE214, salvo que incluye una válvula remota solenoide.	PE214S-50-220	4 vías	9512†	Avance/Parada/Retorno	115 V -15 A 230 V -7,5 A	0,75 kW, 220 V 50 Hz, monofásico	9,4

Anexos conjuntos de bomba hidráulica

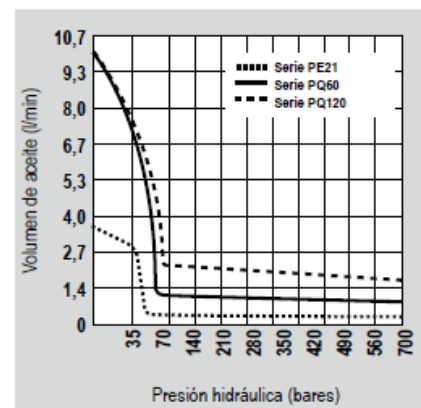
► **Dimensiones técnicas**

N.º de pedido	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K**	Máxima presión de salida (bar)	r.p.m.	dBA en neutro y 700 bar (dBA)	Suministro de aceite (l/min. @)				Peso del producto † con aceite (kg)
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(in.)				7 (bar)	70 (bar)	350 (bar)	700 (bar)	
Serie PE21	543	292	241	165	254	203	359	82,6	3,25	1/2-20 UNF	700	1437	70*	3,6 (bar)	0,4 (bar)	0,4 (bar)	0,3 (bar)	44,4 †

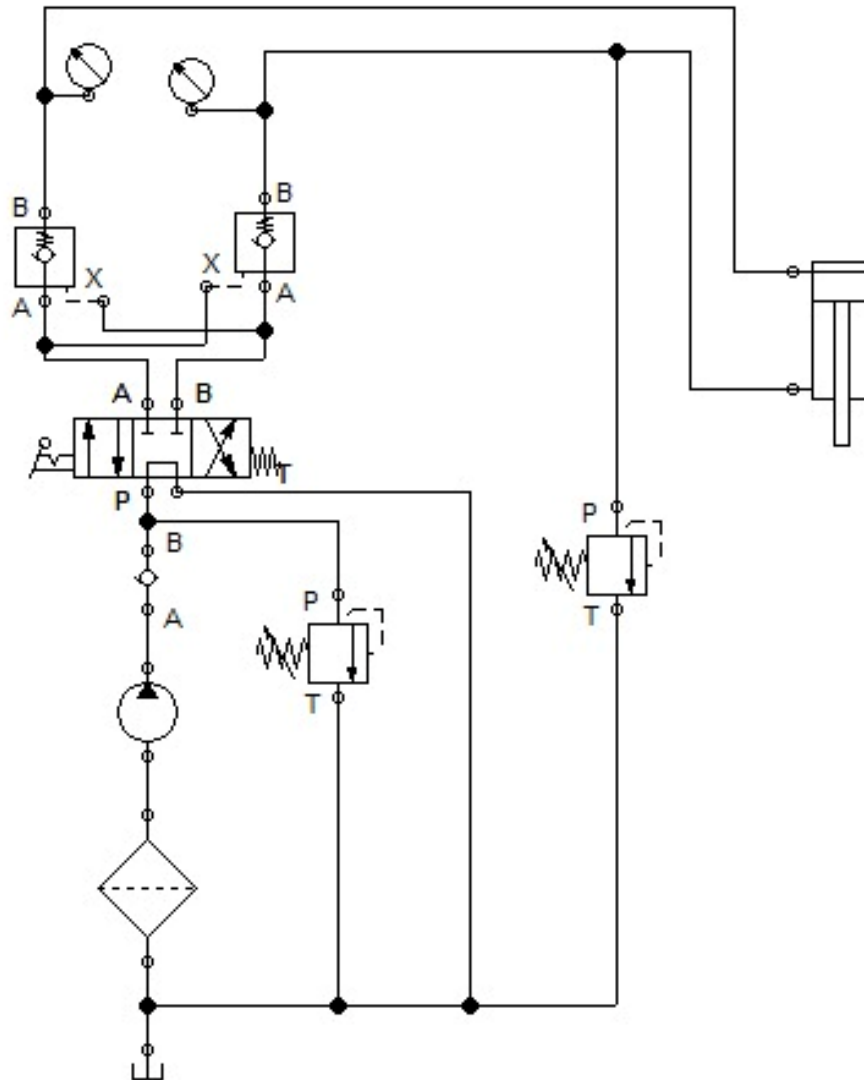
** Para las ruedas orientables de 2" de diámetro, solicite 4 unidades del artículo n° 10494.
 † Peso de envío con válvula manual; sumar 14 kg en el caso de las bombas con válvula de solenoide.



► **Especificaciones de rendimiento**



Plano 1: circuito hidráulico



Ficha técnica O'ring de nitrilo

PROPIEDADES		UNIDADES	NORMA	VALORES
COLOR				NEGRO
PESO ESPECÍFICO		g/cm ³		1,21
DUREZA DE INDENTACIÓN		Shore A	ASTM D2240	70
CARGA DE ROTURA		MPa	ASTM D412	12,0
ALARGAMIENTO A LA ROTURA		%	ASTM D412	250
DESGARRO		N/mm	ASTM D624 Die C	25
TEMPERATURA DE TRABAJO		°C		-30/140
ENVEJECIMIENTO TÉRMICO POR AIRE CALIENTE A 100°C 70 HORAS			ASTM D573	Inc. Dur. Sh A: 5 Inc. Carga: -15 % Inc. Alarg.: -25%
DEFORMACIÓN PERMANENTE A 100°C 22 HORAS			ASTM D395 Método B	Def. Max.: 15%
RESISTENCIA A DISOLVENTES 100°C 70 HORAS	ACEITE ASTM Nº 5		ASTM D471	Inc. Volumen: 5%
	ACEITE IRM 903			Inc. Volumen: 12%
RESISTENCIA QUÍMICA	OZONO			MODERADA
	ÁCIDOS Y BASES DILUIDOS			EXCELENTE
	ÁCIDOS Y BASES CONCENTRADOS			BUENA
	HIDROCARBUROS			EXCELENTE
	DISOLVENTES ORGÁNICOS			BUENA

Departamento de Calidad
Juntas Industriales y Navales