

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de prensa para la obtención de manteca de cacao capacidad de 25

kilogramos por hora

INGE-3101

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Angelo Josue Mendoza Cornejo

Guido Francisco Arevalo Vera

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

A mis padres, por ser el cimiento sobre el cual he construido mi vida. Gracias por cada sacrificio silencioso, por su apoyo incondicional y por creer en mí; este logro es, antes que mío, suyo. A mis hermanas, por ser mi refugio. Gracias por motivarme a no rendirme nunca y por ser ese apoyo incondicional. A mi novia, con todo mi amor. Gracias por estar para mí, por brindarme el ánimo y el cariño que necesitaba para llegar a esta meta. Tu presencia ha sido el regalo más grande en este proceso.

Guido Arévalo Vera

Dedico este trabajo a mi familia, por ser mi apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por sus sacrificios y consejos que me impulsaron a seguir adelante. A mi novia, por su amor y compañía constante durante este proceso, por creer en mí y por motivarme a seguir adelante hasta alcanzar esta meta. Este logro también les pertenece.

Angelo Mendoza Cornejo

Agradecimientos

Expreso mi más profundo agradecimiento a la Dra. Emérita Delgado, al Ing. Ernesto Martínez y al Ing. José Martínez. Gracias por su valiosa guía, por la paciencia en la corrección de este proyecto y por dedicar su tiempo y esfuerzo para ayudarnos a transformar una idea en una realidad técnica. Sus conocimientos han sido fundamentales para llevar esta tesis a buen puerto.

Guido Arévalo Vera

Agradezco profundamente a Dios y a mi familia por su apoyo incondicional y motivación constante a lo largo de este proceso, siendo el pilar fundamental para culminar esta etapa académica. De manera especial, expreso mi sincero reconocimiento a mis profesores, quienes con su guía y exigencia académica contribuyeron significativamente a mi formación profesional y al desarrollo de esta tesis. Su acompañamiento, consejos y confianza fueron esenciales para alcanzar este logro.

Angelo Mendoza Cornejo

Declaración Expresa

Nosotros Guido Francisco Arevalo Vera y Angelo Josue Mendoza Cornejo acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá a los autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor de los autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 23 de octubre del 2025.

Guido Francisco Arevalo
Vera

Angelo Josue Mendoza
Cornejo

Evaluadores

Dra. Emerita Delgado Plaza

Profesor de Materia

Ing. Ernesto Martinez Lozano

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto se centra en el diseño mecánico de una prensa hidráulica manual destinado a la extracción de manteca de cacao, con el objetivo de proporcionar una solución tecnológica accesible para pequeños y medianos agricultores. La investigación identifica que la limitada disponibilidad de equipos especializados restringe la capacidad de los productores para agregar valor a su cosecha de manera eficiente y económicamente viable. La metodología aplicada incluyó el análisis de los requerimientos del cliente, estableciendo una capacidad de producción de 25 [kg/h], así como la definición de criterios de diseño enfocados en el rendimiento, la ergonomía y la viabilidad económica. Se evaluaron tres alternativas de diseño: prensa de palanca, prensa de tornillo y prensa hidráulica manual, determinándose esta última como la opción más adecuada mediante un análisis comparativo basado en eficiencia, capacidad de generación de presión y esfuerzo requerido por el operador. El diseño propuesto, con una inversión estimada de **\$655.25**, permite la transformación de la pasta de cacao en manteca y torta, productos que generan una utilidad de **\$6.72** por cada 25 [kg] procesados. Esta solución técnica no solo facilita la recuperación casi inmediata de la inversión, sino que incrementa el valor de la cosecha en un **1.92%** en comparación con la venta del licor. Así, el proyecto se consolida como una alternativa financieramente viable y altamente rentable para el sector rural, superando las limitaciones de los métodos artesanales tradicionales.

Palabras Clave: Prensa hidráulica manual, manteca de cacao, diseño mecánico, valor agregado, viabilidad económica, procesamiento de cacao.

Abstract

This project focuses on the mechanical design of a manual hydraulic press for cocoa butter extraction, aimed at providing an accessible technological solution for small and medium-sized farmers. The research identifies that the limited availability of specialized equipment restricts producers' ability to add value to their harvest in an efficient and economically viable manner. The applied methodology included a customer requirements analysis, establishing a production capacity of 25 [kg/h], as well as defining design criteria focused on performance, ergonomics, and economic feasibility. Three design alternatives were evaluated: lever press, screw press, and manual hydraulic press; the latter was determined to be the most suitable option through a comparative analysis based on efficiency, pressure generation capacity, and required operator effort. The proposed design, with an estimated cost of \$655.25, enables the transformation of cocoa liquor into butter and cake, products that generate a utility of \$6.72 per every 25 [kg] processed. This technical solution not only facilitates an almost immediate return on investment but also increases the harvest value by 1.92% compared to raw bean sales. Thus, the project stands as a financially viable and highly profitable alternative for the rural sector, overcoming the limitations of traditional artisanal methods.

Keywords: *Manual hydraulic press, cocoa butter, mechanical design, added value, economic feasibility, cocoa processing.*

Índice general

Resumen.....	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del Problema.....	3
1.3 Justificación del Problema.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Marco teórico.....	5
1.5.1 Proceso para la obtención de manteca de cacao.....	5
1.5.2 Proceso de prensado de la pasta de cacao.....	10
1.5.3 Fundamentos teóricos.....	13
1.5.4 Soluciones Computacionales.....	16

Capítulo 2.....	24
2.1 Metodología.....	25
2.1.1 Diagrama de flujo.....	25
2.1.2 Necesidades del cliente y criterios de decisión.....	27
2.1.3 Alternativas de solución.....	34
2.1.4 Solución.....	38
Capítulo 3.....	48
3. Resultados y análisis.....	49
3.1 Resultados de los cálculos.....	49
3.1.1 Selección de la cámara de extracción.....	49
3.1.2 Selección de gata hidráulica.....	51
3.1.3 Diseño de vigas transversales y verticales.....	51
3.1.4 Selección de resortes.....	52
3.1.5 Diseño de soldadura.....	54
3.2 Resultados de la simulación.....	57
3.2.1 Simulación de la estructura base.....	57
3.2.2 Simulación de la cámara de extracción.....	59
3.3 Presupuesto.....	61
3.4 Análisis de los resultados.....	67
3.4.1 Análisis estructural.....	67
3.4.2 Análisis económico.....	68

Capítulo 4.....	69
4.1 Conclusiones y recomendaciones	70
4.1.1 Conclusiones	70
4.1.2 Recomendaciones	71
Referencias.....	72

Abreviaturas

1D	Primera Dimensión
2D	Segunda Dimensión
3D	Tercera Dimensión
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
CAD	Diseño Asistido por Computadora
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral

Simbología

J	Joules
kg	Kilogramo
kg/h	Kilogramo por hora
kg/L	Kilogramo por litro
kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
Mpa	Mega Pascal
m/s ²	Metro por segundo cuadrado
N	Newton
N-m	Newton metro
N/m	Newton por metro
Pa	Pascal
Psi	Libras por pulgada cuadrada
ton	Toneladas

Índice de figuras

Figura 1.....	5
Figura 2.....	6
Figura 3.....	7
Figura 4.....	7
Figura 5.....	8
Figura 6.....	8
Figura 7.....	9
Figura 8.....	9
Figura 9.....	26
Figura 10.....	38
Figura 11.....	49
Figura 12.....	52
Figura 13.....	81
Figura 14.....	82
Figura 15.....	82
Figura 16.....	83
Figura 17.....	84
Figura 18.....	85
Figura 19.....	86
Figura 20.....	87
Figura 21.....	88
Figura 22.....	89
Figura 23.....	90

Figura 24	91
Figura 25	92
Figura 26	93

Índice de tablas

Tabla 1	10
Tabla 2	11
Tabla 3	11
Tabla 4	12
Tabla 5	13
Tabla 6	17
Tabla 7	19
Tabla 8	21
Tabla 9	22
Tabla 10	28
Tabla 11	29
Tabla 12	30
Tabla 13	30
Tabla 14	31
Tabla 15	32
Tabla 16	33
Tabla 17	34
Tabla 18	35
Tabla 19	36
Tabla 20	37

Tabla 21	39
Tabla 22	43
Tabla 23	54
Tabla 24	58
Tabla 25	59
Tabla 26	60
Tabla 27	61
Tabla 28	62
Tabla 29	63
Tabla 30	64
Tabla 31	64
Tabla 32	65
Tabla 33	66
Tabla 34	67
Tabla 35	94

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	prensa hidráulica manual – isométrico	95
PLANO 2	Lista de materiales	96
PLANO 3	Ensamble de prensa hidráulica manual	97
PLANO 4	Bandeja de recolección	98
PLANO 5	Base	99
PLANO 6	Cámara de recolección	100
PLANO 7	Columna estructural	101
PLANO 8	Columna estructural – placa base	102
PLANO 9	Resorte	103
PLANO 10	Vástago de compresión	104
PLANO 11	Viga horizontal	105
PLANO 12	Viga móvil	106

Capítulo 1

1.1 Introducción

El cacao (*Theobroma cacao L*) es un cultivo tropical originario de América Latina, Ecuador es uno de los países con mayor prestigio debido a la calidad de su cacao de aroma fino, conocido también como “Complejo Nacional” [1]. El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias mantiene un banco de germoplasma con más de 2500 accesiones colectadas en diferentes zonas del territorio ecuatoriano, para identificar líneas genéticas con alta producción, resistencia a enfermedades, adaptación agroecológica y atributos de calidad sensorial [2].

Las variedades nacionales han sido valoradas internacionalmente por sus características aromáticas y de sabor, colocando a Ecuador en una posición reconocida en el mercado internacional. Es por esto, que el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca han implementado programas de mejoramiento, entrega de material vegetal certificado y podas masivas para la rehabilitación de plantaciones aumentando así la productividad [3].

En los últimos años, Ecuador ha tenido un crecimiento muy marcado en producción y exportación de cacao y sus derivados. En 2024, Ecuador alcanzó un récord en exportaciones de cacao y de sus derivados con un valor de USD 3618 millones, de los cuales el grano de cacao representó USD 3351 millones, mientras que sus derivados USD 267 millones [4]. En toneladas, esto representa 460000 toneladas exportadas en 2024, representando un incremento del 16% con respecto a 2023 [2]. Esto demuestra que el mercado del cacao y sus derivados siguen en crecimiento, notándose una gran diferencia en los ingresos que genera el grano con respecto a sus derivados.

1.2 Descripción del Problema

Las pequeñas fincas dedicadas al cultivo de cacao presentan complicaciones en la etapa de procesamiento para la obtención de la manteca del cacao, debido a la ausencia de equipos adecuados. Esta situación reduce el aprovechamiento del producto y limita el valor agregado que los productores pueden obtener. Además, la adquisición de prensas industriales resulta económicamente inviable, por lo que se requiere una alternativa de diseño que combine eficiencia, económico, facilidad de operación y mantenimiento.

Por tanto, surge la necesidad de diseñar una prensa manual para la obtención de manteca de cacao, con capacidad de 25 kg por hora de prensada, que se adapte a las condiciones productivas del Ecuador.

1.3 Justificación del Problema

El cacao es uno de los principales productos agrícolas del Ecuador y una fuente clave de ingresos para pequeños productores rurales. Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos [5], la superficie plantada con cacao en Ecuador se ubicó en 612,453 hectáreas en 2024, donde se cosecharon 541,588 hectáreas. Además, según datos del Sistema de Información Productiva Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y ganadería [6], en 2024, el 98.87% de la cosecha fue destinada a la venta con una fuerte demanda internacional por su calidad. Por consiguiente, muchos de los productores se limitan a la venta del grano sin transformación, lo que reduce sus beneficios y limita su desarrollo económico. Por ello, el diseño de una prensa manual para la obtención de manteca de cacao con capacidad de 25 kilogramos por hora de prensada representa una solución accesible que permite agregar valor a la producción, fomenta la autosuficiencia y mejora los ingresos en fincas cacaoteras.

Finalmente, el proyecto se justifica por su impacto positivo en la economía rural, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo tecnológico, fortaleciendo la competitividad y resiliencia de los pequeños productores de cacao en el país. Además, este proyecto al promover la transformación local, generando oportunidades de crecimiento económico inclusivo y trabajo decente, beneficiando así a quienes han tenido menos acceso a los ingresos que genera la cadena de valor del cacao, contribuye directamente al Objetivo de Desarrollo Sostenible 8: “Trabajo decente y crecimiento económico”.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Diseñar una prensa manual con capacidad de 25 kg/h, mediante la aplicación de criterios de diseño mecánico y selección de materiales, para la obtención de manteca de cacao en fincas productoras artesanales.

1.4.2 *Objetivos específicos*

1. Analizar los requerimientos funcionales, operativos y ergonómicos del sistema de prensado de cacao para la obtención de los parámetros de diseño y condiciones de operación.
2. Evaluar el funcionamiento estructural de la prensa manual mediante el modelado y la simulación en software de diseño asistido por computadora, para la validación de su resistencia estructural.
3. Determinar el costo estimado de fabricación del sistema para la evaluación de su viabilidad económica en el contexto de una finca cacaotera artesanal.

1.5 Marco teórico

1.5.1 *Proceso para la obtención de manteca de cacao*

El proceso que deben llevar a cabo los agricultores para poder obtener la manteca de cacao de manera artesanal es el siguiente.

1.5.1.1 Recolección del fruto. Una vez que haya madurado. Se debe extraer el fruto del cacao, cortándolo del árbol con la finalidad de extraer los granos de la mazorca. En la Figura 1 se muestra una mazorca de cacao variedad CCN51.

Figura 1.

Mazorca de Cacao CCN51.



1.5.1.2 Fermentación del cacao. Se debe dejar fermentar los granos en conjunto con la pulpa en un mismo lugar. Por lo general, en las fincas de productores artesanales, durante el proceso de fermentación, se deja reposar en sacos de yute donde se remueve cada 48 horas aproximadamente para lograr una fermentación uniforme. En la Figura 2 se muestra la fermentación del cacao en saco de yute.

Figura 2

Fermentación de la pepa de cacao en saco de yute



1.5.1.3 Secado del cacao. En esta etapa se busca eliminar la humedad del cacao, hay 2 maneras tradicionales de secarlo, la más común es tender el cacao previamente fermentado sobre una explanada para aprovechar el calor del sol. La segunda manera es utilizar un secador que funciona con un quemador para suministrar el calor que se encargará de secar el cacao y remover el cacao para que este se seque uniformemente, si bien, esta opción logra el objetivo en menor tiempo y no depende de las condiciones climáticas, requiere de una inversión previa en equipos e infraestructura. En la Figura 3 se muestra el secado de la pepa al sol, mientras que en la Figura 4 se muestra el secado en secador tradicional.

Figura 3

Secado de la pepa del cacao al sol

**Figura 4**

Secador tradicional



1.5.1.4 Limpieza de los granos. En este punto se busca quitar cualquier impureza, vegetación u objetos extraños que se hayan adherido o mezclado con el producto.

1.5.1.5 Tostado. Se someten los granos limpios y secos a una temperatura de hasta 140°C con el objetivo de realzar su aroma y sabor. Además, que de esta manera se evita la proliferación de microorganismos que afectan la inocuidad del producto. Ver Figura 5.

Figura 5

Tostado del grano de cacao



1.5.1.6 Descascarillado. Se trituran los granos para poder separar los cotiledones o “nibs” de la cáscara. Ver Figura 6

Figura 6

Cacao descascarillado



1.5.1.7 Molienda. Los “nibs” de cacao deben ser molidos para obtener el licor o pasta de cacao. Ver Figura 7.

Figura 7

Cacao molido



1.5.1.8 Prensado. La pasta de cacao se prensa para poder extraer la manteca de cacao que representa el 40% de su peso total. Una vez que se haya prensado la pasta de cacao, se obtendrá la manteca y la torta de cacao. La torta de cacao es una masa sólida que, si se tritura, se puede obtener el polvo de cacao. En la Figura 8 se presenta la obtención de la manteca de cacao.

Figura 8

Prensado del licor de cacao para obtener la manteca de cacao



De esta manera se obtiene tanto el polvo de cacao como la manteca de cacao, productos de alta importancia y amplia usabilidad en la industria alimentaria y cosmética.

1.5.2 Proceso de prensado de la pasta de cacao

El método de prensado puede variar dependiendo de la escala de producción, temperatura y otros factores. Los valores de presión utilizados en la industria encontrados en recursos bibliográficos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Presión de prensado para la obtención de manteca de cacao


Autor	Presión de extracción	Presión en MPa
Minifie, 1986, EE. UU.	6000 psi	41,37
Beckett, 2009, Reino Unido	540 bar	54,00
Yanes, 1994, México	500 kg/cm ²	49,03

Gracias a un estudio realizado por [7], se conoce que la obtención de manteca de cacao se relaciona linealmente con la presión aplicada al licor de cacao, teniendo una relación directamente proporcional, es decir, a más presión se obtiene más manteca de cacao.

Conociendo los valores aproximados de presión necesarios para extraer la manteca del cacao, se puede seleccionar el tipo de prensa adecuado para la extracción del producto. Los tipos más comunes que se pueden encontrar son:

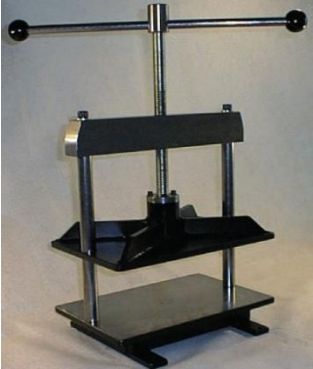
1.5.2.1 Prensa hidráulica manual. La pasta de cacao debe ser colocada dentro de un molde o un envase filtrante que, tras ejercer presión sobre esta, se pueda extraer la manteca de cacao. En la Tabla 2 se muestran las partes de la prensa hidráulica manual.

Tabla 2*Descripción y partes de la prensa hidráulica manual*

Prensa hidráulica manual	Partes principales	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> • Gato hidráulico • Cilindro de presión • Émbolo móvil • Válvula de retorno 	<p>Este tipo de prensa funciona mediante un pistón que será accionado por un gato hidráulico. Utiliza fluido hidráulico para generar presión uniforme.</p>

1.5.2.2 Prensa de tornillo. Opera mediante un tornillo sin fin que gira dentro de un cilindro. La compresión progresiva empujará la pasta de cacao a través de un recipiente filtrante lo cual separará la manteca del cacao de la torta. En la Tabla 3 se muestra la descripción y partes de la prensa de tornillo.


Tabla 3*Descripción y partes de la prensa de tornillo*

Prensa de tornillo	Partes principales	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> • Tornillo roscado • Tuerca fija • Marco • Émbolo • Base de prensado • Palanca de giro 	<p>Consiste en un sistema simple donde el tornillo convierte el movimiento rotatorio en presión axial para comprimir la pasta de cacao.</p>

1.5.2.3 Prensa de palanca. Esta es la opción más económica ya que no requiere de equipos extras o un mecanismo elaborado, sin embargo, es la que menor capacidad de producción entrega. Es útil para cargas pequeñas de trabajo. Ver Tabla 4 para conocer las partes de la prensa de palanca.

Tabla 4

Descripción y partes de la prensa de palanca

Prensa de palanca	Partes principales	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> • Palanca principal • Punto de apoyo • Plato de presión • Bastidor • Base de contención 	<p>Utiliza el principio de palanca para multiplicar la fuerza aplicada manualmente sobre la pasta de cacao.</p>

Es necesario realizar una comparación de las distintas prensas antes señaladas para un mejor estudio que permitiría la selección del diseño propuesto (Ver Tabla 5).

Tabla 5

Comparación entre la prensa hidráulica manual, prensa de tornillo y prensa de palanca

Tipo de Prensa	Ventajas	Desventajas	Mantenimiento	Replicabilidad	Complejidad tecnológica
Prensa hidráulica manual	Alta presión Rendimiento de extracción alto Requiere menos esfuerzo físico	Requiere gato hidráulico Mantenimiento periódico del fluido Peso elevado	Requiere revisión de sellos y aceite hidráulico	Fácil de replicar con materiales locales	Requiere componentes hidráulicos
Prensa de tornillo	Bajo costo de fabricación Operación simple Requiere poco mantenimiento	Requiere mayor esfuerzo físico para el prensado Requiere precalentamiento de la pasta	Requiere limpieza y lubricación de tornillo	Diseño replicable con herramientas básicas	Mecanismo sencillo
Prensa de palanca	Diseño simple Fácil implementación Ideal para cargas bajas	Baja eficiencia de extracción Fuerza limitada por el brazo de palanca	Requiere limpieza y revisión estructural	Materiales comunes y bajo costo de replicabilidad	No requiere maquinaria ni conocimientos especializados

1.5.3 Fundamentos teóricos

A continuación, se presentan los diferentes conceptos mecánicos que se ven involucrados en el diseño de las diferentes prensas mencionadas.

Esfuerzo (σ): Es la resistencia interna que opone un material a una carga externa. Es la fuerza aplicada dividida entre el área sobre la que actúa. [8]

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1.1)$$

Donde el esfuerzo se representa en $[\text{N}/\text{m}^2]$ conocido como $[\text{Pa}]$, F es la Fuerza ejercida en $[\text{N}]$ y A es el área donde actúa en $[\text{m}^2]$.

Deformación (ϵ): Cambio relativo de la forma o tamaño de un cuerpo debido a la aplicación de un esfuerzo. [8]

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \quad (1.2)$$

Donde ϵ es adimensional, ΔL es el cambio de longitud en $[\text{m}]$ y L_o es la longitud inicial en $[\text{m}]$.

Módulo de Elasticidad o Módulo de Young (E): Mide la rigidez de un material, obtenido de la relación entre el esfuerzo y la deformación cuando se aplica una carga axial. [8]

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1.3)$$

Donde E se mide en $[\text{Pa}]$.

Límite elástico (σ_y): Máximo esfuerzo que un material soporta sin deformarse permanentemente. Se mide en $[\text{Pa}]$. [8]

Resistencia Última (σ_u): Mayor esfuerzo que puede soportar un material antes de romperse. Se mide en $[\text{Pa}]$. [8]

Razón de Poisson (ν): Relación entre la deformación lateral y la deformación axial de un material. [8]

$$\nu = -\frac{\epsilon_{lateral}}{\epsilon_{axial}} \quad (1.4)$$

Donde ν es adimensional.

Presión hidráulica (P): Utilizada en prensas hidráulicas, se define como la fuerza aplicada sobre el área del pistón. [9]

$$P = \frac{F}{A_p} \quad (1.5)$$

Donde P se mide en [Pa].

Ventaja mecánica (VM): Relación entre la fuerza de salida producida por la prensa y la fuerza aplicada por el operador. [10]

$$VM = \frac{F_{salida}}{F_{entrada}} \quad (1.6)$$

La VM es adimensional.

Par de torsión (T): Momento de una fuerza que tiende a hacer girar un cuerpo alrededor de un eje. [8]

$$T = F * r \quad (1.7)$$

Donde T se mide en [N-m], F es la fuerza aplicada en [N] y r es la distancia desde el eje de rotación hasta el punto de aplicación de la fuerza se mide en [m].

Momento de flexión (M): Momento generado por una carga que provoca flexión sobre un cuerpo. [8]

$$M = F * d \quad (1.8)$$

Donde M se mide en [N-m].

Trabajo de compresión (W): Energía transferida por la prensa al comprimir un material. [8]

$$W = F * \Delta x \quad (1.9)$$

Donde W se mide en Joules [J].

Eficiencia de transmisión (η) : Porcentaje de la fuerza teórica que realmente se transmite a la carga, considerando pérdidas por fricción. [11]

$$\eta = \frac{F_{real}}{F_{teórica}} * 100\% \quad (1.10)$$

Donde; η se mide en Porcentaje [%].

Coefficiente de fricción (μ): Relación entre la fuerza de fricción y la fuerza normal entre dos superficies en contacto. [12]

$$F_f = \mu * N \quad (1.11)$$

$$\mu = \frac{F_f}{N} \quad (1.12)$$

Donde; μ es adimensional, F_f es la fuerza de fricción en [N] y N es la fuerza normal a la superficie medida en [N].

1.5.4 Soluciones Computacionales

Los programas computacionales son herramientas utilizadas en ingeniería para realizar modelos numéricos, obteniendo soluciones aproximadas confiables comparadas con los métodos clásicos. Además, trata los problemas como son y no utilizando asunciones, ofreciendo soluciones para todos los problemas, contrario a los métodos clásicos. Los principales métodos numéricos utilizados en programas computacionales se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6*Métodos numéricos más utilizados en programas computacionales*

Método	Concepto	Ecuaciones Claves
Elementos Finitos	Discretiza regiones complejas continuas en formas geométricas simples llamadas elementos finitos. [13]	Ecuación de equilibrio global: $[K]\{u\} = \{F\}$ Ecuación constitutiva: $\sigma = [D]\varepsilon$ Relación deformación-desplazamiento: $\varepsilon = [B]\{u\}$
Elementos de Contorno	Discretiza el contorno del cuerpo a estudiar, reduciendo el tamaño del sistema de ecuaciones. Resuelve ecuaciones diferenciales parciales convirtiéndolas en una integral sobre la superficie del dominio. [14]	Ecuación integral de contorno: $c(P)\phi(P) + \int_{\Gamma} \phi(Q) \frac{\partial G(P,Q)}{\partial n} d\Gamma = \int_{\Gamma} q(Q)G(P,Q)d\Gamma$
Volumen Finito	Resuelve ecuaciones diferenciales parciales dividiendo el dominio en volúmenes de control, aplicando las leyes de conservación en cada volumen y resolviendo las integrales numéricamente. [15]	Ecuación general de conservación: $\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV + \int_S \rho \phi \vec{v} \cdot \vec{n} dS = \int_S \Gamma \nabla \phi \cdot \vec{n} dS + \int_V S_{\phi} dV$
Diferencias Finitas	Permite la resolución aproximada de ecuaciones diferenciales definidas en dominios finitos. Se utiliza para resolver problemas en dinámica de fluidos y transferencia de calor. [16]	Primera derivada: $\frac{du}{dx} \approx \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2\Delta x}$ Segunda derivada: $\frac{d^2u}{dx^2} \approx \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{\Delta x^2}$ Ecuación general: $a_i u_{i-1} + b_i u_i + c_i u_{i+1} = d_i$

Conociendo los tipos de métodos numéricos, en la Tabla 7 se presentan los programas computacionales que más se utilizan para realizar simulaciones de análisis mecánicos:

Tabla 7*Programas computacionales más utilizados*


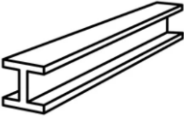

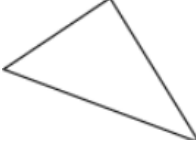
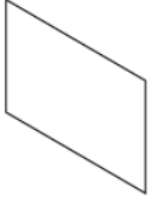
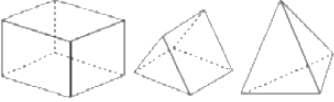
Programa	Ventajas	Desventajas	Método Numérico
ANSYS [17]	<ul style="list-style-type: none"> • Precisión estructural y de contacto. • Permite acoplar análisis térmico, estructural y de fluidos. • Amplia biblioteca de materiales y condiciones de frontera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Licencia costosa. • Simulación dinámica multicuerpo limitada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos finitos.
SolidWorks Motion+ Simulation [18]	<ul style="list-style-type: none"> • Entorno CAD + simulación. • Fácil uso, además permite visualizar el movimiento del mecanismo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca capacidad en contactos complejos o no lineales. • Precisión limitada comparada con otros softwares 	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos Finitos. • Dinámica Multicuerpo
Inventor Nastran [19]	<ul style="list-style-type: none"> • Integración con Inventor CAD. • Rápida configuración de contactos y cargas. • Buena precisión para ensamblajes simples. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitado en análisis dinámicos complejos. • Menos opciones de no linealidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos finitos.
Simulia Abaqus [20]	<ul style="list-style-type: none"> • Buena precisión para grandes deformaciones, contacto y plasticidad. • Soporta acoplamientos térmico mecánicos y viscoelasticidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz compleja. • Coste de licencia alto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos finitos.

El funcionamiento de los programas computacionales varía en cada programa, pero todos se basan en la misma estructura:

Geometría: Se crea la geometría deseada, se pueden crear en el mismo programa de simulación o se pueden utilizar programas CAD y luego cargarlo al programa de simulación. En ocasiones será necesario refinar la geometría para empezar a mallar.

Mallado: Es la discretización del modelo geométrico complejo en elementos más pequeños, estos son formas geométricas sencillas, ya sean en 1D, 2D o 3D. Además, los puntos comunes donde se conectan los elementos se los conocen como nodos y todo este conjunto de elementos y nodos forman la malla. La malla puede ser creada de forma global o local, de forma global es una malla general para toda la geometría, mientras que el mallado local se lo realiza por secciones de esta, refinando la malla en zonas de interés, como concentradores de esfuerzos, aumentando así el número de elementos en esas zonas y disminuyéndolos en zonas de poco interés. A continuación, en la Tabla 8 se presentan diferentes elementos que se pueden utilizar en el mallado.

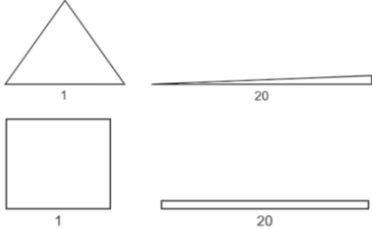
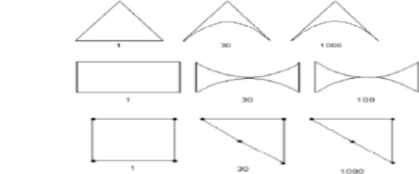
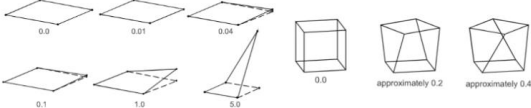
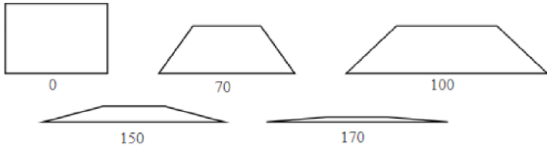



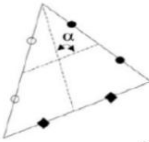
Tabla 8*Elementos utilizados para el mallado de la simulación*

Categoría	Tipo	Número de Nodos
1D	Barra	 2
	Viga	 2
2D	Deformación o Tensión Plana	 3 o 4
	Membrana	 3 o 4
	Cáscara	 Desde 3 hasta 8
3D	Sólido	 Desde 8 hasta 20

También, según la selección de elementos utilizados en el mallado la solución podría variar, por lo que existen parámetros para medir la calidad de los elementos del mallado. En la Tabla 9 se presentan los parámetros para determinar la calidad de la malla:

Tabla 9

Parámetros para medir la calidad de la malla

Parámetros	Medición
Relación de aspecto	$1 \leq \text{aspect ratio} \leq 5$ 
Jacobiano	$0.6 < \text{Jacobiano} \leq 1$ 
Factor de ángulo de deformación	$0^\circ \leq \text{Warp angle} < 10^\circ$ 
Desviación paralela	$0^\circ \leq \text{Parallel deviation} < 70^\circ$ 
Ángulo de esquina máximo	$60^\circ \leq \text{MBA (Triangulos)} < 165^\circ$  $90^\circ \leq \text{MBA (Cuadrilateros)} < 155^\circ$ 
Ángulo oblicuo	$0^\circ \leq \text{Skew angle} < 45^\circ$  $\text{Skew angle} = 90^\circ - \min(\alpha)$  $\text{Skew Angle} = 1 - \text{Max}\left(\frac{90^\circ - \alpha}{90^\circ}\right)$

Nota. Tomado de [21]

Cargas: Se definen las cargas iniciales además de las condiciones de frontera que interactúan con el modelo geométrico.

Definir soluciones: Se seleccionan las soluciones deseadas que permitan obtener el análisis de los resultados esperados, como lo pueden ser deformaciones, esfuerzos, entre otros.

Solucionar: Es el postprocesamiento de los datos obtenidos de la simulación, se realiza el análisis de los resultados dando una solución y conclusión de estos. Además, es recomendable realizar varios mallados para obtener los resultados y mediante convergencia, tomando en cuenta la variación entre iteraciones que no debe ser mayor al 5%, determinar si los resultados de la simulación son válidos.

Capítulo 2

2.1 Metodología

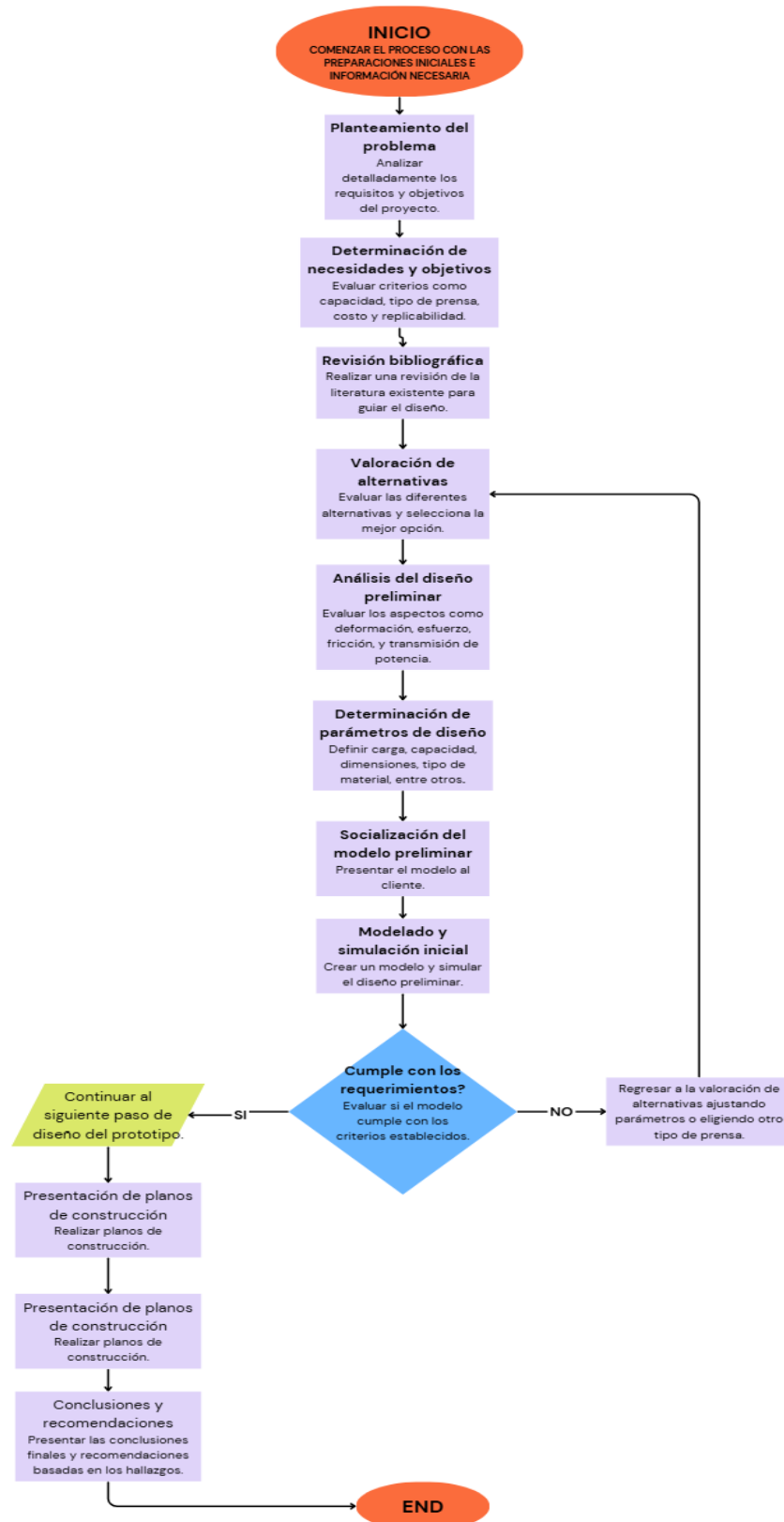
Se presenta el proceso de diseño de la prensa manual para extracción de la manteca de cacao. Aplicando las técnicas de comparación por pares y matriz de decisión, se selecciona la mejor alternativa para resolver la problemática del cliente, continuando con el diseño y la simulación de la solución.

2.1.1 Diagrama de flujo

El proceso que el diseño tomará se lo presenta en el diagrama de flujo, lo cual ayudará a mantener el orden durante el proyecto, tomando en cuenta cualquier percance que pueda ocurrir (Ver Figura 9).

Figura 9

Diagrama de flujo prensa para manteca de cacao



2.1.2 Necesidades del cliente y criterios de decisión

El cliente es un pequeño agricultor de cacao cuya finca se encuentra en la zona de Bucay. En la actualidad, su actividad productiva se limita a las etapas primarias del cultivo: siembra, mantenimiento, cosecha y venta del cacao en baba o secado como materia prima. Este esquema productivo genera ingresos reducidos, ya que el productor vende su cacao sin ningún tipo de transformación y, por lo tanto, sin valor agregado.

El diseño de una prensa manual para manteca de cacao con capacidad de 25 kg por hora es necesario para que las pequeñas fincas cacaoteras transformen su materia prima, incrementando sus ingresos sin tener que adquirir maquinaria industrial costosa. Por esto, se busca que el diseño sea económico y replicable, además, que las asociaciones cacaoteras tengan acceso a este y que tenga más alcance a nivel nacional.

El sector cacaotero es importante para la economía del Ecuador, pero los pequeños productores no se ven tan beneficiados debido a que no agregan valor a su materia prima y esto se debe a la falta de equipos adecuados. A continuación, se presentan las necesidades que el diseño busca resolver y que además sea asequible para las pequeñas fincas cacaoteras (Ver Tabla 10).

Tabla 10*Necesidades del cliente*

25 kg por hora de prensada
Presión aproximada de 15 MPa
Altura de 1600 mm
Facilidad de transporte
Fácil limpieza
Sistema de precalentamiento
Fácil operación del equipo para el operador
Económico
Estética
Replicabilidad

Tomando en cuenta las necesidades del cliente, se las organiza en diferentes criterios de selección para conocer la importancia de cada necesidad, enfocando el diseño en la dirección adecuada, satisfaciendo al cliente. (Ver Tabla 11).

Tabla 11*Criterios de selección*

<p>1. Rendimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • 25 kg por hora de prensada • Presión aproximada de 15 MPa • Sistema de precalentamiento <p>2. Ergonomía</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altura de 1600 [mm] • Fácil limpieza • Facilidad de transporte <p>3. Accesibilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Económico • Replicabilidad • Fácil operación del equipo para el operador <p>4. Estética</p>
--

2.1.2.1 Comparación por pares. La comparación por pares determina que elemento es el preferido o el adecuado para la solución. Se evalúa cada elemento entre sí, comparando dos elementos a la vez y determinando cual es más importante. Tomando los criterios de decisión y las necesidades del cliente, se procede a realizar la comparación por pares para determinar el grado de importancia de cada uno. Se utilizó una ponderación entre 1 a 10 (Tabla 12) para determinar la incidencia de cada criterio de decisión (Tabla 13).

Tabla 12*Rango y criterios de medición*

Rango	1-10
Criterio	1: Menos importante 5: Medianamente importante 10: Más importante

Tabla 13*Comparación por pares criterios de decisión para prensa de manteca de cacao*

	Rendimiento	Ergonomía	Accesibilidad	Estética	Total	Pesaje
Rendimiento	1.00	2.50	5.00	10.00	18.5	0.48
Ergonomía	0.40	1.00	5.00	10.00	16.4	0.43
Accesibilidad	0.20	0.20	1.00	5.00	1.90	0.05
Estética	0.10	0.10	0.20	1.00	1.40	0.04
					38.2	1.00

Utilizando la valoración de la Tabla 12, se comparan las necesidades del cliente en base a cada criterio de selección. Con respecto al rendimiento, se comparan necesidades funcionales del equipo, las que aseguran que el equipo funcione en óptimas condiciones. (Ver Tabla 14)

Tabla 14

Comparación por pares de necesidades del cliente en base al rendimiento

	Rendimiento (0.48)			Total	Peso	Peso
					Relativo	Absoluto
Rendimiento	25 kg	Presión	Sistema de			
	por hora	aprox.	precalentamiento			
	de	de 15				
	prensada	MPa				
25 kg por hora	1.00	5.00	10.0	16.0	0.68	0.33
de prensada						
Presión de 15	0.20	1.00	5.00	6.20	0.26	0.12
MPa						
Sistema de	0.10	0.20	1.00	1.30	0.06	0.03
precalentamiento						
				23.5	1.00	0.48

En la Tabla 15 se comparan las necesidades que aseguran la ergonomía del equipo para el operador. El equipo debe ser operable para distintos operadores, asegurando su seguridad, bienestar y productividad.

Tabla 15

Comparación por pares de necesidades del cliente en base a la ergonomía

	Ergonomía (0.43)			Total	Peso Relativo	Peso Absoluto
Ergonomía	Altura	Fácil limpieza	Facilidad de transporte			
Altura	1.00	5.00	10.0	16.0	0.68	0.29
Fácil limpieza	0.20	1.00	5.00	6.20	0.26	0.11
Facilidad de transporte	0.10	0.20	1.00	1.30	0.06	0.03
				23.5	1.00	0.43

A continuación, se compara las necesidades que aseguran que el diseño sea accesible (ver Tabla 16), permitiendo que las fincas cacaoteras cuenten con la posibilidad de poder construir la prensa para manteca de cacao.

Tabla 16*Comparación por pares de necesidades del cliente en base a la accesibilidad*

	Accesibilidad (0.05)			Total	Peso relativo	Peso Absoluto
Accesibilidad	Fácil operación	Económico	Replicabilidad			
Fácil operación	1.00	5.00	10.0	16.0	0.68	0.034
Económico	0.20	1.00	5.00	6.20	0.26	0.013
Replicabilidad	0.10	0.20	1.00	1.30	0.06	0.003
				23.50	1.00	0.050

Finalmente, en la Tabla 17 se presentan los criterios y las necesidades del cliente ponderados, sabiendo así en que dirección llevar el diseño de la prensa para manteca de cacao con capacidad de 25 kg por hora.

Tabla 17

Criterios de decisión con sus respectivas necesidades del cliente ponderados

<p>1. Rendimiento (0.48)</p> <p>1.1. 25 kg por hora de prensada (0.33)</p> <p>1.2. Presión aproximada de 15 MPa (0.12)</p> <p>1.3. Sistema de precalentamiento (0.03)</p>	<p>2. Ergonomía (0.43)</p> <p>2.1. Altura de 1600 mm (0.29)</p> <p>2.2. Fácil limpieza (0.11)</p> <p>2.3. Facilidad de transporte (0.03)</p>
<p>3. Accesibilidad (0.05)</p> <p>3.1. Fácil operación del equipo para el operador (0.034)</p> <p>3.2. Económico (0.013)</p> <p>3.3. Replicabilidad (0.003)</p>	<p>4. Estética (0.04)</p>

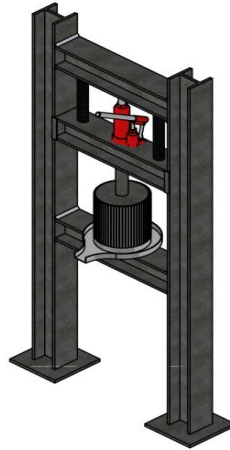
Gracias a la comparación por pares, el diseño se enfocará en el rendimiento y la ergonomía de la prensa, cumpliendo con que la capacidad de la prensa sea de 25 kilogramos por hora de prensada, con altura de 1600 [mm], que alcance la presión aproximada de 15 [MPa], que sea fácil de limpiar y que sea fácil de operar. Por tanto, se determinará que alternativa de solución es la adecuada para cumplir con los requerimientos mencionados.

2.1.3 Alternativas de solución.

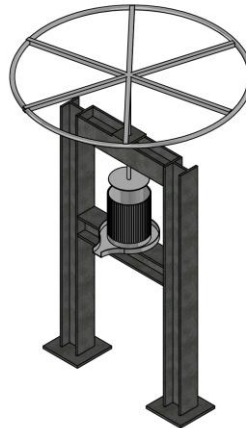
A partir del Capítulo 1 se mencionaron distintos tipos de prensas que se encuentran en el mercado. Se les realizó una comparación entre cada prensa, conociendo así sus cualidades y sus limitantes. Por esto, se tomaron en cuenta las siguientes alternativas de solución. En la Tabla 18 se muestran las alternativas

Tabla 18*Alternativas de solución*

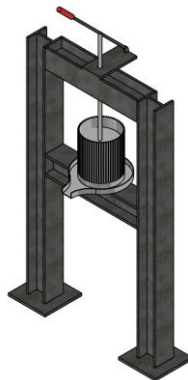
Alternativa A: Prensa hidráulica manual.



Alternativa B: Prensa de tornillo.



Alternativa C: Prensa de palanca.



2.1.3.1 Matriz de decisión. Conociendo cuales son los requerimientos del cliente y las alternativas a solución, se realiza una matriz de decisión, la cual evalúa cada alternativa con cada uno de los requerimientos, dando como respuesta cual es la prensa que cumplirá con lo que el cliente necesita.

En la Tabla 19 se presentan los rangos y criterios de evaluación para la matriz de decisión y en la Tabla 20 se presenta la matriz de decisión, donde se evalúa cada alternativa con cada necesidad del cliente, mediante el producto entre el rango y la ponderación de cada necesidad, dando como resultado cual es la solución adecuada.

Tabla 19

Rangos y criterios de medición

Rango	Criterio
1-3	No cumple
4-6	Cumple medianamente
7-10	Sí cumple

Tabla 20*Matriz de decisión*

Criterio	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Puntaje	Resultado	Puntaje	Resultado	Puntaje	Resultado
25 kg/h	0.330	9	2.970	7	2.310	5	1.650
Altura de 1600 mm	0.290	8	2.320	8	2.320	7	2.030
Presión de 15 MPa	0.120	10	1.200	8	0.960	5	0.600
Fácil limpieza	0.110	7	0.770	6	0.660	6	0.660
Estética	0.040	6	0.240	7	0.280	6	0.240
Fácil operación	0.034	8	0.272	6	0.204	7	0.238
Sistema de precalentamiento	0.030	7	0.210	7	0.210	3	0.090
Facilidad de transporte	0.030	5	0.150	7	0.210	8	0.240
Económico	0.013	7	0.091	9	0.117	8	0.104
Replicabilidad	0.003	6	0.018	9	0.027	8	0.024
TOTAL			8.241		7.298		5.876

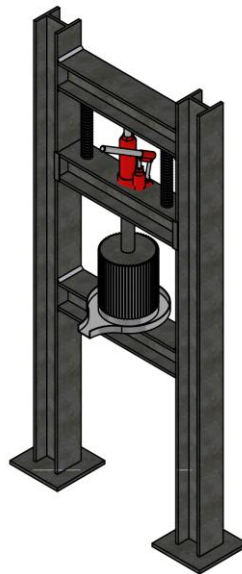
La alternativa ganadora fue la A, la prensa hidráulica manual, con una puntuación de 8.241, según la matriz de decisión esta alternativa resolverá el problema de manera satisfactoria, prensará los 25 [kg] por hora necesarios, además tendrá un diseño que ofrezca ergonomía y accesibilidad para demás fincas cacaoteras.

2.1.4 Solución

2.1.4.1 Diseño preliminar. La Figura 10 muestra el diseño preliminar de la prensa hidráulica manual para manteca de cacao. Se observan sus componentes acoplados y sus dimensiones dependerán de los resultados que se obtendrán y de la disponibilidad que exista en el mercado ecuatoriano.

Figura 10

Diseño preliminar de la prensa hidráulica manual



2.1.4.2 Cálculos. Para iniciar con el diseño de la prensa hidráulica manual para manteca de cacao con capacidad de 25 [kg] por hora de prensada, se establecen los parámetros iniciales que permitirán el análisis respectivo del diseño. En la Tabla 21 se presentan los datos iniciales del diseño y las propiedades del licor de cacao utilizado para obtener manteca de cacao.

Tabla 21

Parámetros iniciales y propiedades del licor y torta de cacao para el análisis del diseño

Producción	25 kg por hora de prensada
Número de prensadas	6
Masa para prensar en relación con el tiempo	4 kg
Tiempo de prensado	10 minutos
Presión de prensado [7]	15 MPa
Compresión esperada	40% de la altura inicial
Humedad licor de cacao	1.5% Máximo
Grasa de Cacao	50% Mínimo
Densidad	1.08 kg/L

Nota: Tomado de [22]

Diseño de la cámara de extracción:

Volumen inicial (V): Es el volumen de la pasta de cacao del cual se extraerá la manteca de cacao, por tanto, el volumen de la cámara de extracción debe ser igual o mayor al volumen de la pasta de cacao. Se obtiene de la Ecuación 2.1.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (2.1)$$

Donde el volumen V se mide en [m³], la masa m en [m²] y la densidad del licor de cacao ρ en [kg/m³].

Área de prensado (A): Es el área donde se prensará la pasta de cacao, debido a que la cámara de extracción es cilíndrica, el área de prensado será circular, como se muestra en la Ecuación 2.2.

$$A = \pi * \frac{d^2}{4} \quad (2.2)$$

Donde el área A se mide en $[m^2]$ y el diámetro d en $[m]$.

Altura inicial (h_i): Es la altura que ocupará la pasta de cacao dentro de la cámara de extracción, se la obtiene de la relación entre el volumen de la pasta y el área de prensado, como se presenta en la Ecuación 2.3.

$$h_i = \frac{V}{A} \quad (2.3)$$

Donde la altura inicial h_i se mide en $[m]$.

Altura final (h_f): Es la altura que ocupará la torta de cacao después de la extracción de la manteca de cacao. Como se mencionó en la Tabla 21, la compresión será del 40% por tanto la altura final será el 60% de la altura inicial. Ver Ecuación 2.4.

$$h_f = 60\%h_i \quad (2.4)$$

Donde h_f se mide en $[m]$.

Stroke: Es la carrera de la prensa hidráulica para poder realizar el prensado. Se obtiene de la diferencia entre la altura inicial y la altura final. Ver Ecuación 2.5

$$\Delta h = h_i - h_f \quad (2.5)$$

Donde el Stroke Δh se mide en $[m]$.

Fuerza de la gata hidráulica (F): Es la fuerza que la gata realiza para extraer manteca de cacao. Se la obtiene del producto entre la presión de prensado y el área de prensado como se observa en la Ecuación 2.6.

$$F = P * A \quad (2.6)$$

Donde la fuerza de prensado F se la mide en [N], la presión de prensado en [Pa] y el área de prensado en [m²].

Esfuerzo permisible del material (σ_p): Es la resistencia máxima que soporta un material. Relaciona el esfuerzo de fluencia del material con un factor de seguridad (Ver Ecuación 2.7).

$$\sigma_p = \frac{S_y}{FS} \quad (2.7)$$

Donde el esfuerzo permisible σ_p se mide en [MPa], el esfuerzo de fluencia S_y en [MPa] y el factor de seguridad FS es adimensional.

Esfuerzo tangencial máximo (σ_{max}): Es la máxima tensión de corte que un material puede soportar. El esfuerzo tangencial máximo relaciona la presión interna del recipiente con su radio exterior y su radio interior (Ver Ecuación 2.8).

$$\sigma_{max} = \frac{P(b^2 - a^2)}{b^2 - a^2} \quad (2.8)$$

Donde el esfuerzo tangencial máximo σ_{max} se mide en [MPa], el radio interior a y el radio exterior b se miden en [m].

Selección de gata hidráulica:

Capacidad de gata hidráulica en toneladas: Partiendo de la fuerza de la gata hidráulica, se transforma de [N] a [ton] para obtener la capacidad de la gata hidráulica que se utilizará para prensar. Ver Ecuación 2.9.

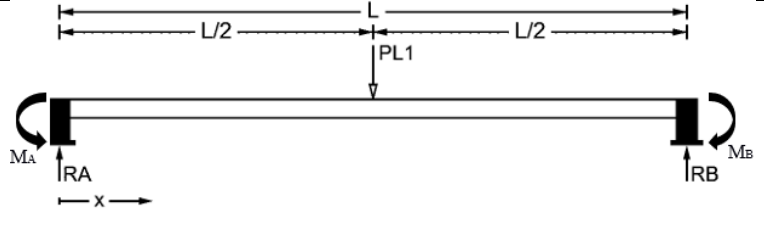
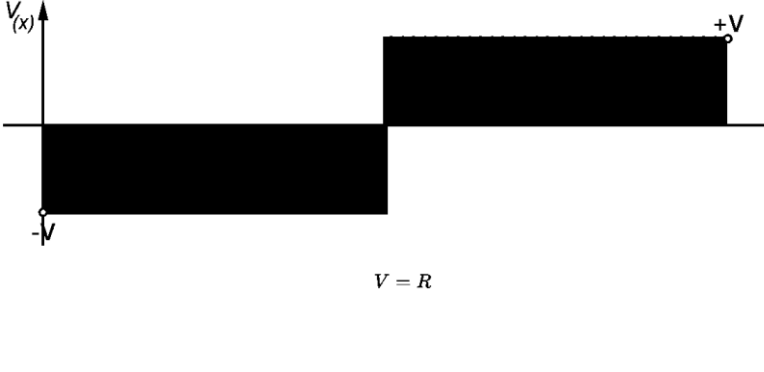
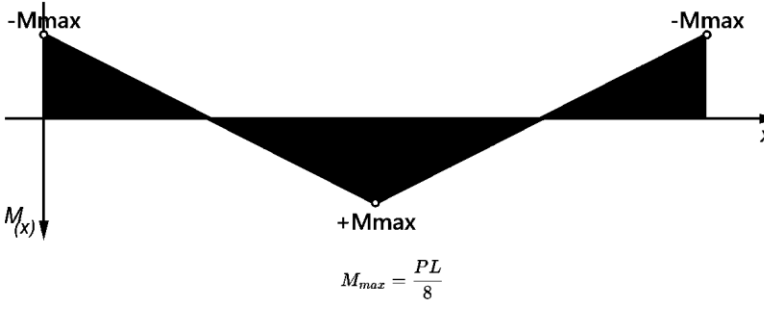
$$Capacidad = \frac{F}{9806.65} \quad (2.9)$$

Diseño de la estructura base.

Vigas transversales y verticales: las vigas transversales están sometidas a tensión por la fuerza que ejerce la gata hidráulica hacia la estructura. Estas se encuentran en doble empotramiento o fijas, por tanto, se utiliza este modelo para su diseño (ver la Tabla 22).

Tabla 22

Modelo de viga en doble empotramiento

<p>Diagrama de Cuerpo Libre</p>		<p>Diagrama utilizado para representar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo para analizar su movimiento o equilibrio.</p>
<p>Diagrama de Fuerza Cortante</p>	 <p style="text-align: center;">$V = R$</p>	<p>Suma de todas las fuerzas verticales que actúan sobre una sección de la viga. Representa la fuerza cortante con respecto a la posición en la viga, salta en puntos de cargas puntuales y varía linealmente o según la carga distribuida (triangular, parabólica, etc.). Si el cortante se encuentra por encima del eje horizontal es positivo y por debajo negativo.</p>
<p>Diagrama de Momento Flector</p>	 <p style="text-align: center;">$M_{max} = \frac{PL}{8}$</p>	<p>Suma de momentos de las cargas y reacciones con respecto a un punto de la viga, generando flexión. Representa el momento con respecto a la posición en la viga, su forma es un grado mayor al del diagrama de fuerza cortante, por ejemplo: linealidad para una carga puntual, parabólica para una carga distribuida, etc. Los máximos y mínimos ocurren cuando el cortante es cero, es decir, cuando cruza el eje horizontal.</p>

Nota: Tomado de [8]

Las vigas verticales actúan como columnas, debido a la disposición de las cargas, estas no están sometidas a esfuerzos críticos como las vigas horizontales, por tanto, para el diseño se tomará en cuenta las vigas seleccionadas del análisis de las vigas verticales.

Momento flector máximo: Es la fuerza interna que causa la mayor flexión en una viga. Se lo obtiene del diagrama de momento flector, relacionando la carga con la longitud de la viga como se muestra en la Ecuación 2.10.

$$M_{max} = \frac{FL}{8} \quad (2.10)$$

Donde el momento flector máximo M_{max} se mide en [N-m], la carga aplicada en el centro es la fuerza que ejerce la gata hidráulica F en [N] y L es la longitud de la viga en [m].

Esfuerzo permisible ($\sigma_{p,v}$): Se utiliza la Ecuación 2.9, tomando los datos del material y de factor de seguridad para estas vigas.

Esfuerzo de carga (σ_c): Es la relación entre el momento flector máximo y el módulo de resistencia de la viga asociado a su perfil como se muestra en la Ecuación 2.11.

$$\sigma_c = \frac{M_{max}}{W} \quad (2.11)$$

Donde el esfuerzo de carga se mide en [MPa], momento flector máximo en [N-m] y el módulo de resistencia en [m³]

Módulo de resistencia (W): Se igualan las Ecuaciones 2.10 y 2.11 y luego se despeja W obteniendo la Ecuación 2.12.

$$W = \frac{M_{max} * FS}{S_y} \quad (2.12)$$

Selección de resortes

Peso del conjunto móvil (F_{cm}): Es el peso que los resortes deben retraer para devolver a la posición original los elementos móviles que prensarán el licor de cacao, en este caso se retraerán la gata hidráulica y una viga móvil, ver Ecuación 2.13.

$$F_{cm} = (m_{gata} + m_{viga\ móvil}) * g \quad (2.13)$$

Donde el peso del conjunto móvil F_{cm} se mide en [N], la masa de la gata m_{gata} y la masa de la viga móvil $m_{viga\ móvil}$ en [kg] y la aceleración de la gravedad g en [m/s^2]

Fuerza total de retorno (F_t): Es la sumatoria de las fuerzas implicadas en el sistema móvil, obteniendo así la Ecuación 2.15.

$$F_t = F_{cm} + F_f \quad (2.15)$$

Donde la fuerza total de retorno F_t se mide en [N].

Fuerza de cada resorte (F_r): Considerando que se utilizarán más de un resorte en el sistema y conociendo la fuerza total de retorno, es necesario que la carga se distribuya para el número de resortes que se implementarán en el sistema, teniendo así la Ecuación 2.16.

$$F_r = \frac{F_t}{n} \quad (2.16)$$

Donde la fuerza de los resortes F_r se mide en [N] y el número de resortes n es adimensional.

Constante elástica (k): Es la fuerza que se necesita para deformar un resorte. Se la obtiene despejando la Ley de Hooke como se muestra en la Ecuación 2.17.

$$k = \frac{F_r}{\Delta x} \quad (2.17)$$

Donde la constante elástica k se mide en [N/m] y el desplazamiento Δx se mide en [m].

Soldadura

Fuerza del cordón (F_{cordon}): Es la fuerza que soportará el cordón de soldadura, depende de que carga se aplique, en este caso es un momento flector máximo como se muestra en la Ecuación 2.18.

$$F_{cordon} = \frac{M}{d_{centros}} \quad (2.18)$$

Donde la fuerza del cordón F_{cordon} se mide en [N], el momento flector máximo M en [N-m] y la distancia entre centros de los cordones en [m].

Esfuerzo admisible (τ_{adm}): Es el producto entre un factor y la resistencia última del material, como se muestra en la Ecuación 2.19.

$$\tau_{adm} = 0.4 * f_u \quad (2.19)$$

Donde el esfuerzo admisible τ_{adm} se mide en [MPa] y la resistencia última f_u se mide en [MPa].

Área de soldadura (A_{sol}): Es el área que ocupará la soldadura. Se obtiene de la fuerza del cordón y el esfuerzo admisible como se muestra en la Ecuación 2.20.

$$A_{sol} = \frac{F_{cordon}}{\tau_{adm}} \quad (2.20)$$

Donde el área de soldadura A_{sol} se mide en [m²].

Garganta (a): Es la distancia más corta desde la raíz hasta la cara de la soldadura. Se obtiene de la Ecuación 2.21.

$$a = \frac{A_{sol}}{h_{efe}} \quad (2.21)$$

Donde la garganta a se mide en [m] y la altura efectiva h_{efe} en [m].

Pierna (z): Es la longitud desde la raíz hasta el pie de la soldadura. Se la mide utilizando la garganta como se muestra en la Ecuación 2.22.

$$z = \frac{a}{0.707} \quad (2.22)$$

Donde la pierna z se mide en [m].

Análisis económico

Ingresos (I): Se los determina mediante el producto del precio en el mercado y la cantidad a pensar u obtenida. (Ver Ecuación 2.23)

$$I = \text{precio} \times \text{cantidad} \quad (2.23)$$

Donde el ingreso I viene dado en [\$], el precio en [\$/kg] y la cantidad en [kg]

Utilidad (U): Viene dada por la sumatoria de los ingresos frente a la diferencia de los egresos como se muestra en la Ecuación 2.24.

$$U = I - E \quad (2.24)$$

Donde la utilidad U , los ingresos I y los egresos E se miden en [\$].

Capítulo 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se presentan los resultados para el diseño de la prensa para manteca de cacao con capacidad de 25 [kg] por hora de prensada. En el Apéndice A se presenta el procedimiento completo de los cálculos realizados.

3.1 Resultados de los cálculos

3.1.1 Selección de la cámara de extracción

Volumen inicial (V): Se obtiene de la Ecuación 2.1.

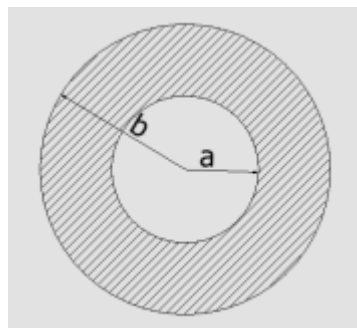
$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = 0.0037037 [m^3]$$

Considerando el volumen de la pasta de cacao, se seleccionó un cilindro tomado de un tubo cédula 80 con diámetro nominal de 12,7 [cm], una altura de 30 [cm] y espesor de 9,52 [mm] (Ver Figura 13 en el Apéndice B). En la Figura 11 se presenta un diagrama de la cámara de extracción.

Figura 11

Diagrama de la cámara de extracción



Área de prensado (A): Utilizando la Ecuación 2.2 se obtiene el área a prensar.

$$A = \pi * \frac{d^2}{4}$$

$$A = 0.012668 [m^2]$$

Altura inicial (h_i): Se utiliza la Ecuación 2.3.

$$h_i = \frac{V}{A}$$

$$h_i = 0.29 [m] = 290 [mm]$$

Altura final (h_f): Ver Ecuación 2.4.

$$h_f = 60\%h_i$$

$$h_f = 0.17 [m] = 170 [mm]$$

Stroke: Se obtiene de la Ecuación 2.5

$$\Delta h = h_i - h_f$$

$$\Delta h = 0.12 [m] = 120 [mm]$$

Fuerza de la gata hidráulica: Utilizando la Ecuación 2.6.

$$F = P * A$$

$$F = 190,015 [N]$$

Esfuerzo permisible del material (σ_p): Tomando como material acero inoxidable AISI

304 y utilizando la Ecuación 2.7 se obtiene:

$$\sigma_p = \frac{S_y}{FS}$$

$$\sigma_p = 112.75 [MPa]$$

Esfuerzo tangencial máximo (σ_{max}): Utilizando la Ecuación 2.8, con radio interior a de 0.0635 [m] y radio exterior b de 0.07302 [m] se obtiene:

$$\sigma_{max} = \frac{P(b^2 + a^2)}{b^2 - a^2}$$

$$\sigma_{max} = 108.08 [MPa]$$

Cumpliendo así que el esfuerzo permisible del material es mayor al esfuerzo tangencial máximo dentro del cilindro, asegurando que soportará la carga que ejercerá la gata hidráulica al prensar.

3.1.2 Selección de gata hidráulica

Tomando en consideración la fuerza que debe ejercer la gata hidráulica, se obtienen las toneladas necesarias, utilizando la Ecuación 2.9, para su selección.

Capacidad de gata hidráulica en toneladas:

$$Capacidad = \frac{F}{9806.65}$$

$$Capacidad = 19.38 [ton] \approx 21 [ton]$$

Se selecciona una gata hidráulica de 21 [ton] para poder ejercer los 15 [MPa] de presión necesarios para obtener la manteca de cacao. (Ver Figura 15 en el Apéndice B)

3.1.3 Diseño de vigas transversales y verticales

Momento flector máximo: Se obtiene de la Ecuación 2.10:

$$M_{max} = \frac{FL}{8}$$

$$M_{max} = 11,875.96 [N * m]$$

Módulo de resistencia (W): Utilizando como material acero ASTM A36 y la Ecuación 2.12 se obtiene:

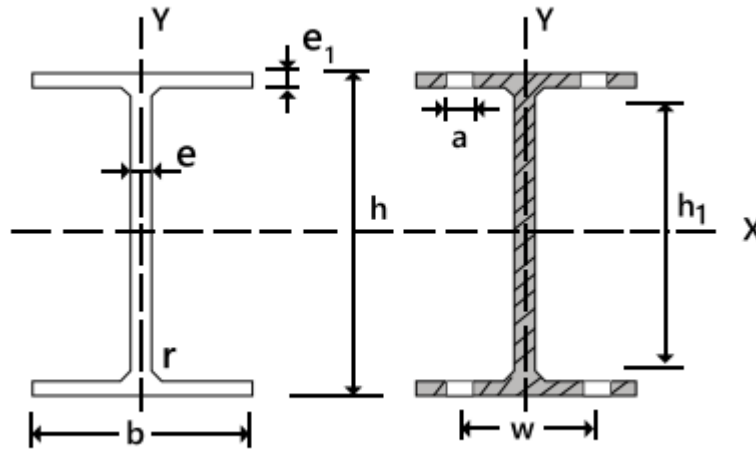
$$W = \frac{M_{max} * FS}{S_y}$$

$$W = 1.19 \times 10^{-4} [m^3] = 119 [cm^3]$$

Por tanto, se seleccionó la viga IPE 180 que cumple con el módulo de resistencia necesario (Ver Figura 14 en el Apéndice B). Además, se selecciona una viga IPE 80 para utilizarla como guía para la gata hidráulica, ya que no sufrirá esfuerzos significativos. En la Figura 12 se muestra el diagrama de los perfiles IPE.

Figura 12.

Diagrama Perfiles IPE



3.1.4 Selección de resortes

Peso del conjunto móvil (F_{cm}): Utilizando la Ecuación 2.13 se obtiene:

$$F_{cm} = (m_{gata} + m_{viga\ móvil}) * g$$

$$F_{cm} = 127.53 [N]$$

Fuerza total de retorno (F_t): Se obtiene de la Ecuación 2.15:

$$F_t = F_{cm} + F_f$$

$$F_t = 225.63 [N]$$

Fuerza de cada resorte (F_r): Conociendo que el número de resortes n a utilizar son 2, utilizando la Ecuación 2.16 se obtiene:

$$F_r = \frac{F_t}{n}$$

$$F_r = 112.815 [N]$$

Desplazamiento de los resortes (Δx): Tomando en consideración el desplazamiento que la gata hidráulica realizó para el prensado, entonces el desplazamiento de retorno de los resortes es:

$$\Delta x = 0.166 [m]$$

Constante elástica (k): Se la obtiene de la Ecuación 2.17:

$$k = \frac{F_r}{\Delta x}$$

$$k = 1,226.25 [N/m]$$

Tomando en consideración la constante elástica y que la longitud libre de los resortes será de 240 [mm], en la Tabla 23 se muestran las dimensiones necesarias para los resortes seleccionados, tomados de la Figura 16 en el Apéndice B.

Tabla 23*Dimensiones físicas de los resortes*

Dimensiones físicas	Valor [mm]
Diámetro del alambre	4.115
Diámetro exterior	68.250
Diámetro medio	64.135
Diámetro interior	60.020
Longitud libre	241.300
Vueltas totales	8.500
Paso	35.225
Constante elástica	1434 [N/m]
Carga máxima	259.781 [N]
Recorrido máximo	181.209
Material	Acero inoxidable 302 ASTM A313

3.1.5 Diseño de soldadura

Se realiza el diseño de las soldaduras pertinentes, obteniendo también los electrodos a utilizar.

Soldadura vigas IPE 180 a tubos cuadrados:

Fuerza del cordón (F_{cordon}): La distancia entre centros de los cordones de soldadura depende de la geometría de la viga, en este caso es de 0.16 [m]. Se utiliza la Ecuación 2.18.

$$F_{cordon} = \frac{M}{d_{centros}} \quad (2.18)$$

$$F_{cordon} = 148,449 [N]$$

Esfuerzo admisible (τ_{adm}): Se utiliza la resistencia última del material en este caso es ASTM A36 (ver Ecuación 2.19).

$$\tau_{adm} = 0.4 * f_u \quad (2.19)$$

$$\tau_{adm} = 160 [MPa]$$

Área de soldadura (A_{sol}): Aplicando la Ecuación 2.20, se obtiene:

$$A_{sol} = \frac{F_{cordon}}{\tau_{adm}} \quad (2.20)$$

$$A_{sol} = 0.000928 [m^2]$$

Garganta (a): La altura efectiva depende también de la geometría de la viga, en este caso es de 0.18 [m], la altura de la sección transversal de la viga (ver Ecuación 2.21).

$$a = \frac{A_{sol}}{h_{efe}} \quad (2.21)$$

$$a = 0.005 [m] = 5 [mm]$$

Pierna (z): Se obtiene de la Ecuación 2.22.

$$z = \frac{a}{0.707} \quad (2.22)$$

$$z = 0.0073 [m] = 7.3 [mm]$$

En este caso, debido de que ambos componentes son de ASTM A36, el electrodo recomendado para realizar esta soldadura es el E7018, permitiendo una alta calidad y resistencia en el cordón, además de su gran disponibilidad en el mercado.

Soldadura barra sólida del pistón a la viga IPE 180:

En este caso se recomienda una soldadura de penetración total debido al espesor del alma de la viga que es de 8 [mm], se debe realizar un bisel cónico a la barra de ángulo incluido de 60° y nariz de 2 [mm], con un refuerzo exterior no mayor a 3 [mm]. También se utilizará electrodo E7018.

Soldadura tubos cuadrados a bases fijas en el suelo:

Esfuerzo admisible (τ_{adm}): Debido a que son del mismo material (ASTM A36), se utiliza el esfuerzo último de 400 [MPa] (Ver Ecuación 2.19).

$$\tau_{adm} = 0.4 * f_u \quad (2.19)$$

$$\tau_{adm} = 160 \text{ [MPa]}$$

Área de soldadura (A_{sol}): La fuerza del cordón es la mitad de la carga debido a que son dos componentes distintos y la carga se distribuye para ambos, como se observa en la Ecuación 2.20.

$$A_{sol} = \frac{F_{cordon}}{\tau_{adm}} \quad (2.20)$$

$$A_{sol} = 0.00059 \text{ [m}^2\text{]}$$

Garganta (a): Se obtiene de la Ecuación 2.21. En este caso la altura eficiente viene dada por los lados de la sección cuadrada.

$$a = \frac{A_{sol}}{h_{efe}} \quad (2.21)$$

$$a = 0.001 \text{ [m]} = 1 \text{ [mm]} \approx 3 \text{ [mm]}$$

Según la normativa AWS D1.1 dicta que el tamaño de filete mínimo para placas/tubos debe ser de 3 [mm], debido a que el obtenido fue de 1 [mm] es necesario aproximarlos a los 3 [mm] mínimos.

Pierna (z): Utilizando la Ecuación 2.22 y utilizando como garganta a de 3 [mm], se obtiene:

$$z = \frac{a}{0.707} \quad (2.22)$$

$$z = 0.0042 \text{ [m]} = 4.2 \text{ [mm]}$$

En este caso también se utiliza el electrodo E7018.

3.2 Resultados de la simulación

Una vez obtenido el diseño y los materiales que se van a utilizar se procede a realizar la simulación, esta permite observar el comportamiento de la prensa al momento de realizar su función, mostrando las zonas con mayor probabilidad de fallo, permitiendo así cambios en el diseño o de material antes de que se proceda a la construcción de la prensa, evitando así la implementación de un diseño defectuoso.

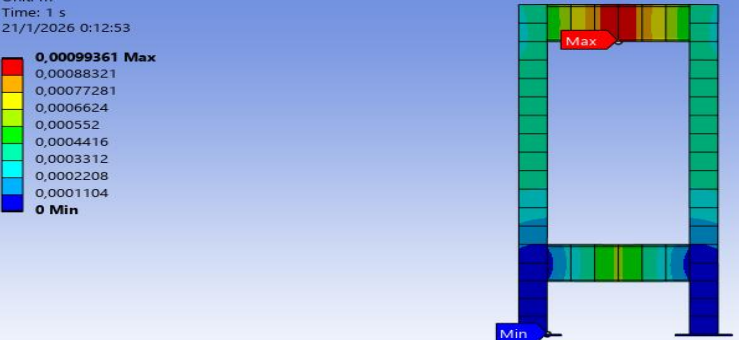
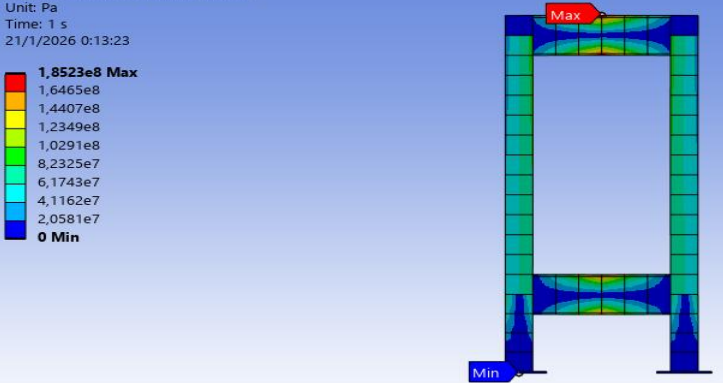
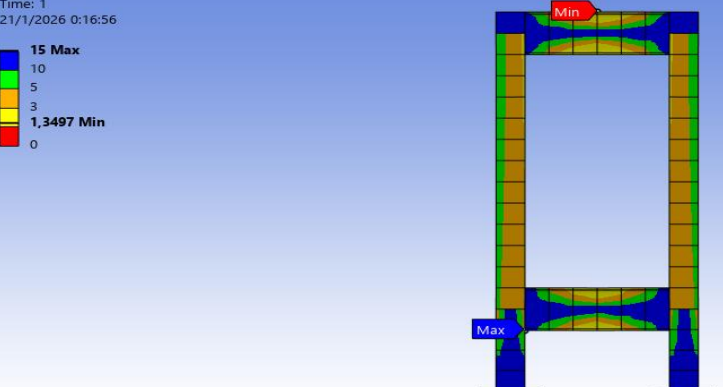
A continuación, se presentan la simulación de la estructura base y de la cámara de extracción, éstas fueron utilizadas con el programa ANSYS Student, mencionado en la Tabla 7:

3.2.1 Simulación de la estructura base

La estructura base está formada por las bases fijas en el suelo, las columnas de tubo de sección cuadrado y los parantes de viga IPE 180. Los efectos de los demás componentes se representarán como cargas iniciales. En la Tabla 24 se presentan las simulaciones de análisis estático sobre la estructura base, mostrando las deformaciones, el esfuerzo de Von Mises y el factor de seguridad. Las deformaciones presentadas en la estructura están entre un mínimo de 0 [m] y un máximo de 0.00099361 [m], se representan con una escala de color dentro del modelado, siendo azul para la deformación mínima y rojo para la máxima. En el caso del esfuerzo equivalente de Von Mises se utiliza la misma escala de colores, los esfuerzos van desde un mínimo de 0 [Pa] y un máximo de 185 [MPa]. El factor de seguridad va de un mínimo de 1.3497 a un máximo de 15, representándose con una escala de colores distinta, donde el amarillo representa el mínimo y el azul el máximo.

Tabla 24

Simulación Estructura Base

Item	Simulación
Deformación	<p>B: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: m Time: 1 s 21/1/2026 0:12:53</p>  <p>0.00099361 Max 0.00088321 0.00077281 0.0006624 0.000552 0.0004416 0.0003312 0.0002208 0.0001104 0 Min</p>
Esfuerzo de Von Mises	<p>B: Static Structural Equivalent Stress Type: Equivalent (von-Mises) Stress Unit: Pa Time: 1 s 21/1/2026 0:13:23</p>  <p>1.8523e8 Max 1.6465e8 1.4407e8 1.2349e8 1.0291e8 8.2325e7 6.1743e7 4.1162e7 2.0581e7 0 Min</p>
Factor de Seguridad	<p>B: Static Structural Safety Factor Type: Safety Factor Time: 1 21/1/2026 0:16:56</p>  <p>15 Max 10 5 3 1.3497 Min 0</p>

El mallado se realizó con Elementos cuadráticos, evitando los triangulares, en este caso se utilizaron 1166 nodos y 180 elementos. En la Tabla 25 se presentan los valores de calidad de malla explicados en la Tabla 9, además en el Apéndice C se presentan las capturas de pantalla que corroboran la información:

Tabla 25

Calidad de la malla de la estructura base

Parámetros	Medición
Relación de aspecto	3.125
Jacobiano	1
Factor de ángulo de deformación	0°
Desviación paralela	0°
Ángulo de esquina máximo	90°

3.2.2 Simulación de la cámara de extracción

La cámara de extracción está conformada por el cilindro perforado, la base de prensado, el pistón que transmitirá la fuerza de la gata hidráulica y el licor de cacao que se prensará. En la Tabla 26 se presentan las simulaciones de análisis estático sobre la cámara de extracción, mostrando las deformaciones, el esfuerzo de Von Mises y el factor de seguridad. Las deformaciones presentadas en la cámara de extracción están entre un mínimo de 0 [m] y un máximo de 0.00018566 [m], se representan con una escala de color dentro del modelado, siendo azul para la deformación mínima y rojo para la máxima. En el caso del esfuerzo equivalente de Von Mises se utiliza la misma escala de colores, los esfuerzos van desde un mínimo de 0 [Pa] y un máximo de 200 [MPa]. El factor de seguridad va de un mínimo de 1.2 a un máximo de 15,

representándose con una escala de colores distinta, donde el amarillo representa el mínimo y el azul el máximo.

Tabla 26

Simulación de la cámara de extracción

Item	Simulación
Deformación	<p>B: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: m Time: 1 s 21/1/2026 11:43:50</p> <p>0,00018566 Max 0,00016503 0,0001444 0,00012378 0,00010315 8,2517e-5 6,1888e-5 4,1258e-5 2,0629e-5 0 Min</p>
Esfuerzo de Von Mises	<p>B: Static Structural Equivalent Stress Type: Equivalent (von-Mises) Stress Unit: Pa Time: 1 s 21/1/2026 11:45:34</p> <p>2,0083e8 Max 1,7852e8 1,562e8 1,3389e8 1,1158e8 8,9261e7 6,6946e7 4,4631e7 2,2317e7 2350,8 Min</p>
Factor de Seguridad	<p>B: Static Structural Safety Factor Type: Safety Factor Time: 1 21/1/2026 11:46:16</p> <p>15 Max 10 5 3,6667 2,3333 1,2 Min 0</p>

En este caso el mallado se realizó con elementos cuadráticos y triangulares debido a la complejidad de las geometrías, además de las limitaciones de nodos y elementos de la licencia de ANSYS Student, se utilizaron 32772 nodos y 19112 elementos. En la Tabla 27 se presentan los valores de calidad de malla, además en el Apéndice C se presentan las capturas de pantalla que corroboran la información:

Tabla 27

Calidad de malla de la cámara de extracción

Parámetros	Medición
Relación de aspecto	43.89
Jacobiano	1
Factor de ángulo de deformación	0°
Desviación paralela	0.0048°
Ángulo de esquina máximo	171.13°

3.3 Presupuesto

En la Tabla 28 se presenta el presupuesto de los materiales sin procesar de la prensa para manteca de cacao.

Tabla 28*Presupuesto sin procesar*

Presupuesto sin procesar			
Item	Cantidad	Costo unitario	Costo
Plancha ASTM A36 8mm (1.22x2.44 m)	1	\$149.57	\$149.57
Plancha inoxidable 2mm (1.22x2.44 m)	1	\$143.46	\$143.46
Plancha inoxidable 8mm (1.22x2.44 m)	1	\$774.34	\$774.34
Tubo cuadrado ASTM A36 100x100x4 (6 m)	1	\$92.03	\$92.03
Barra sólida A36	1	\$70.00	\$70.00
Viga IPE 180	1	\$142.13	\$142.13
Viga IPE 80	1	\$36.00	\$36.00
Tubo 5 in ced 80	1	\$285.90	\$285.90
Gata hidráulica	1	\$81.99	\$81.99
Resorte	2	\$28.20	\$56.40
Electrodo 7018 1/8 in (1 kg)	3	\$4.13	\$12.39
Electrodo 308L-16 inox de 1/8 in (1 kg)	1	\$11.42	\$11.42
Mano de obra	N/A	N/A	\$150.00
Total			\$2,005.63

A continuación, se presenta el presupuesto para la implementación de la prensa para manteca de cacao, los valores monetarios se consideraron tomando en cuenta el área de plancha a utilizar y longitud para los tubos y vigas, además, para la mano de obra se consideró un 30% del valor total de los materiales y además del trabajo por la soldadura (Ver Tabla 29).

Tabla 29*Presupuesto para la prensa*

Presupuesto de la prensa			
Item	Cantidad	Costo unitario	Costo
Plancha ASTM A36 8mm (200x200 mm)	2	\$3.52	\$7.03
Plancha inoxidable 2mm (1.22x2.44 m)	1	\$6.12	\$6.12
Plancha inoxidable 8mm (ø127 mm)	8	\$5.77	\$46.13
Tubo cuadrado ASTM A36 100x100x4 (1.6 m)	2	\$42.95	\$85.89
Barra sólida A36 1 1/2 in	1	\$5.31	\$5.31
Viga IPE 180 (0.5 m)	2	\$10.78	\$21.56
Viga IPE 80 (0.5 m)	1	\$5.25	\$5.25
Tubo 5 in ced 80	1	\$41.69	\$41.69
Gata hidráulica	1	\$81.99	\$81.99
Resorte	2	\$28.20	\$56.40
Electrodo 7018 1/8 in (1 kg)	3	\$4.13	\$12.39
Electrodo 308L-16 inoxidable de 1/8 in (1 kg)	1	\$11.42	\$11.42
Mano de obra	N/A	N/A	\$100.00
Total			\$468.04

Una vez obtenido el presupuesto de los componentes de la prensa, se consideran otros atributos para su implementación, en este caso el diseño de la prensa y una matriz de riesgo. La matriz de riesgo es un valor asumido para cualquier eventualidad inesperada para la implementación de la prensa. Para ambos atributos se considera el 20% del costo del presupuesto, obteniéndose así la inversión total para la construcción de la prensa. Ver Tabla 30:

Tabla 30*Inversión total*

Presupuesto	Costo del diseño	Matriz de riesgo	Inversión total
\$468.040	\$93.608	\$93.608	\$655.25

En la Tabla 31, se presenta la comparación de los ingresos en caso de que se venda el grano de cacao o que se lo procese en alguno de sus derivados, tomando en cuenta los valores actuales de la pepa de cacao, manteca de cacao y la torta de cacao en el mercado local utilizando el sitio web Selina Wamucii donde se presentan los precios del año 2026. Tomar en cuenta que los valores de mercado colocados son precios minoristas debido a la cantidad por prensado que se está utilizando. Los precios al por mayor difieren de los precios minoristas, siendo menores. Los ingresos se obtienen del producto entre el precio del mercado y la cantidad por prensada como se muestra en la Ecuación 2.23.

$$I = \text{precio} \times \text{cantidad} \quad (2.23)$$

$$I = 224.10 \text{ [\$]}$$

Tabla 31*Comparación de ingresos entre la pepa de cacao y sus derivados Mercado Local*

Item	Precio del Mercado	Cantidad por	Ingresos
	Local [\$/kg]	prensada [kg]	
Cacao en grano	4.61	31.25	\$144.06
Licor de cacao	14.00	25	\$350.00
Manteca de cacao	22.41	10	\$224.10
Torta de cacao	9.58	15	\$143.70

En la Tabla 32, se realiza la comparación de ingresos tomando en caso de que el producto sea vendido en el mercado estadounidense.

Tabla 32

Comparación de ingresos entre la pepa de cacao y sus derivados Mercado Estadounidense

Item	Precio del mercado EE. UU. [\$/kg]	Cantidad por prensada [kg]	Ingresos
Cacao en grano	2.86	31.25	\$89.38
Licor de cacao	9.69	25	\$242.25
Manteca de cacao	8.71	10	\$87.10
Torta de cacao	11.25	15	\$168.75

A continuación, en la Tabla 33, se muestra la comparación de ingresos en el caso de que se venda en el mercado europeo, se toma en consideración el mercado neerlandés, quien es el principal importador de cacao en Europa, además de que es uno de los principales puertos logísticos para el comercio y procesamiento europeo.

Tabla 33

Comparación de ingresos entre la pepa de cacao y sus derivados Mercado Europeo

Item	Precio del mercado europeo (Países bajos) [\$/kg]	Cantidad por prensada [kg]	Ingresos
Cacao en grano	2.83	31.25	\$88.44
Licor de cacao	12.95	25	\$323.75
Manteca de cacao	15.29	10	\$152.90
Torta de cacao	12.27	15	\$184.05

En la Tabla 34 se presenta el análisis de las ganancias por hora derivadas de la implementación de la prensa para la obtención de manteca de cacao en fincas productoras, considerando el mercado de comercialización como variable de estudio. Se establece una comparación entre la venta del licor de cacao como producto base y la comercialización de la manteca y la torta de cacao, con el propósito de evaluar el valor agregado generado por el proceso de prensado. Además, se incorporan los egresos asociados a la operación del sistema, tales como el salario por hora de \$3.04 del operador, considerando que se le pague un salario básico unificado de \$482 [23] y el pago al dueño de la finca de \$5.00 por hora, permitiendo determinar la rentabilidad neta del proceso bajo distintos escenarios de mercado. (Ver Ecuación 2.24)

$$U = I - E \quad (2.24)$$

$$U = 6.72 \text{ [\$]}$$

Tabla 34*Utilidad en función del mercado comercial*

Mercado	Utilidad
Ecuador	\$6.72
Estados Unidos	\$2.52
Europa	\$2.12

3.4 Análisis de los resultados

3.4.1 Análisis estructural.

El diseño logra la presión objetivo de 15 [MPa] mediante el uso de un cilindro de 127 [mm] de diámetro. Para vencer la resistencia de la pasta de cacao, se calculó una fuerza necesaria de 19.3 [ton], la selección de una gata hidráulica de 21 [ton] garantiza el cumplimiento de la producción de 25 [kg/h] sin sobre exigir el componente hidráulico, permitiendo un margen de seguridad operativo. El uso de tubería AISI 304 Cédula 80 con un espesor de 9.52 [mm] asegura la contención de la presión y la inocuidad alimentaria, gracias a la simulación se valida la selección del tubo Cédula 80 con un factor de seguridad de 1.2, siendo bajo para el valor esperado, esto se debe a la complejidad de modelar el licor de cacao, ya que se lo está modelando como un sólido casi incompresible, por lo que se generan mayores esfuerzos a los esperados, pero sin superar el límite de fluencia del material.

Las vigas IPE 180 y columnas de tubo cuadrado de 100x4 [mm] soportan las 21 [ton] de carga, la simulación validó que los esfuerzos se mantienen por debajo del límite de fluencia del acero ASTM A36, además, se obtuvieron factores de seguridad mayores a 1.4 en sus componentes garantizando la seguridad de los operarios. Se implementaron dos resortes (ver dimensiones en la Tabla 18) de tracción de acero AISI 302 permitiendo el retroceso automático

del parante móvil (viga IPE 80) y la gata hidráulica, lo que optimiza los tiempos de ciclo y reduce la fatiga manual en operaciones continuas, facilitando el uso por personas sin fuerza excesiva.

3.4.2 Análisis económico

Teniendo una inversión de \$655.25, el proyecto es financieramente viable para las fincas artesanales. El presupuesto demuestra que el uso de materiales locales y perfiles comerciales reduce drásticamente la inversión en comparación con las prensas industriales, cumpliendo con el objetivo de accesibilidad económica para el sector rural. A demás, al prensar 25 [kg] de licor de cacao se obtiene un ingreso bruto de \$367.80 por hora, entre la manteca y torta de cacao, mientras que solo vendiendo el licor se obtiene un ingreso de \$350.00. Y, como se muestra en la Tabla 34 la ganancia es de \$6.72 más que vendiendo solo el licor de cacao, considerándose el salario de dos operadores, teniendo así un aumento del 1.92% y un retorno de la inversión en aproximadamente 98 horas, es decir, 25 días si se trabajan 4 horas diarias en el prensado. Los precios entre mercados difieren, además de que los precios del cacao son volátiles durante las épocas del año debido a los periodos de siembra y cosecha, al momento de la realización de este proyecto los precios de la pepa de cacao y sus derivados son bajos. En Ecuador la pepa de cacao, debido a su calidad, se encuentra en precios más altos a comparación de los internacionales, esto se debe a que ellos importan también a otros países productores como Costa de Marfil y Ghana.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- Se diseñó una prensa manual con capacidad de 25 [kg/h] para la obtención de manteca de cacao, mediante la aplicación de criterios de diseño mecánico y la selección adecuada de materiales, cumpliendo con los requerimientos funcionales y ergonómicos definidos para su operación. El análisis estructural demostró que el sistema es capaz de generar la presión de prensado requerida, manteniendo los esfuerzos y deformaciones dentro de los límites permisibles de los materiales seleccionados. Asimismo, el diseño garantiza un funcionamiento eficiente y confiable, validando su aplicabilidad en fincas productoras como una alternativa viable para la obtención de derivados del cacao agregando valor a su cosecha.
- El análisis de los requerimientos y necesidades del cliente permitió definir los parámetros críticos de diseño de la prensa manual para manteca de cacao, evidenciando que el rendimiento y la ergonomía son requerimientos esenciales en el diseño. Por tanto, el diseño propuesto responde directamente a las necesidades de las fincas cacaoteras y garantiza una operación segura y adecuada para el operador.
- El diseño de la prensa manual para la obtención de manteca de cacao aporta una solución tecnológica apropiada para las fincas cacaoteras, gracias a la simplicidad de fabricación y funcionalidad. Permite generar presiones de prensado adecuadas mediante el sistema hidráulico manual, reduciendo la dependencia de maquinaria industrial costosa y en ocasiones compleja. Además, los planos propiciados y el uso de materiales comerciales disponibles en el mercado local, también reciclable, favorecen la replicabilidad del equipo, facilitando su fabricación en talleres

convencionales, permitiendo que pequeños productores adopten y reproduzcan el diseño, promoviendo la transformación local del cacao.

- La evaluación estructural realizada por software permitió validar la resistencia mecánica de los principales componentes de la prensa. Los resultados del análisis demostraron que la estructura es capaz de soportar la carga de operación sin comprometer la integridad estructural ni la seguridad del sistema y de los operadores.
- El análisis de costos evidenció que la fabricación de la prensa manual es económicamente viable para su implementación en fincas cacaoteras. El uso de materiales disponibles en el mercado local y un diseño mecánico simple reducen significativamente la inversión inicial en comparación con prensas industriales. Esto confirma que el sistema propuesto es compatible con la economía de pequeños productores, permitiéndoles agregar valor a su producción sin invertir grandes cantidades de dinero. Además, gracias a que el prensado del licor de cacao produce torta y manteca de cacao, se genera un aumento de aproximadamente 2% a las ganancias de los agricultores.

4.1.2 Recomendaciones

- Para validar y optimizar los aspectos funcionales y ergonómicos del diseño, es necesario socializar con Asociaciones Cacaoteras para discutir aspectos como la presión de prensado, la capacidad del equipo, la altura de trabajo, la facilidad de operación, entre otros. Esto favorece a que más productores se interesen en la implementación de la prensa.
- Complementar el análisis computacional con simulaciones dinámicas y de fluidos, considerando los ciclos repetitivos de prensado y el comportamiento del

licor y la manteca del cacao. Esto permitirá evaluar el comportamiento del equipo a largo plazo y garantizar una mayor vida útil de los componentes sometidos a cargas cíclicas, especialmente la estructura y la gata hidráulica.

- Desarrollar un análisis económico más detallado, mostrando las ganancias a futuro incluyendo depreciación, vida útil del equipo y la volatilidad del mercado del cacao y sus derivados.

Referencias

- [1] “Cacao.” Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://tecnologia.iniap.gob.ec/cacao/>
- [2] P. Gonzalez, “El cacao se coronó en 2024 como el tercer producto no petrolero de exportación,” *Primicias*, Feb. 12, 2025. Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.primicias.ec/economia/cacao-tercer-producto-exportaciones-ecuador-camaron-banano-89642/>
- [3] “Agricultores reciben plantas de cacao,” *La Nación*, Jan. 07, 2016. Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://lanacion.com.ec/agricultores-reciben-plantas-de-cacao/>
- [4] “Exportaciones de cacao en Ecuador crecieron 174% en 2024, conozca sus principales destinos - El Comercio,” *El Comercio*, Mar. 16, 2025. Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/ecuador-duplico-exportaciones-cacao-principales-destinos/>
- [5] “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC ABRIL. 2025,” Apr. 2025. Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2024/Presentacion_de_resultados_ESPAC_2024.pdf

- [6] “Operativos de Rendimientos Objetivos,” 2024. Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/informe-de-rendimientos-objetivos/rendimiento-de-cacao>
- [7] M. J. Venter, N. Schouten, R. Hink, N. J. M. Kuipers, and A. B. de Haan, “Expression of cocoa butter from cocoa nibs,” *Sep. Purif. Technol.*, vol. 55, no. 2, pp. 256–264, Jun. 2007, doi: 10.1016/j.seppur.2006.12.003.
- [8] F. P. Beer, J. R. Jhonston, J. T. DeWolf, and D. F. Mazurek, *Mecánica De Materiales*, 5th ed. McGraw-Hill, 2010.
- [9] A. Tikkanen and E. Gregersen, “Science Physics hydraulics fluid mechanics,” Encyclopedia Britannica. Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/hydraulic-press>
- [10] R. G. Budynas and J. Keith Nisbett, *Shigley’s Mechanical Engineering Design 10th Edition*. WCB McGraw-Hill, 2015.
- [11] R. L. Norton, *Design of machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines*. WCB McGraw-Hill, 1999.
- [12] R. C. Juvinall and K. M. Marshek, *Fundamentals of Machine Component Design*, 5th ed. Wiley, 2011.
- [13] T. R. Chandrupatla and A. D. Belegundu, *Introduction to finite elements in engineering*. Pearson, 2012.
- [14] Z. Wang *et al.*, “Boundary Element Method (BEM).”
- [15] L. Chen, “FINITE VOLUME METHODS.”
- [16] L. Lara, Z. Chavez, and J. Castaneda, *El Método De Diferencias Finitas*. Editorial UPAO, 2019.

- [17] “Ansys Mechanical Structural FEA Analysis Software.” Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.ansys.com/products/structures/ansys-mechanical>
- [18] “Why Choose SOLIDWORKS Simulation?” Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-simulation>
- [19] “Features of Inventor Nastran.” Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/inventor-nastran/features>
- [20] “General-Purpose Finite Element Analysis Software.” Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.3ds.com/products/simulia/abaqus>
- [21] “Mesh Metric”, Accessed: Nov. 02, 2025. [Online]. Available: https://ansyshelp.ansys.com/public/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v242/en/wb_msh/msh_metrics.html
- [22] A. Ricardo, G. Bustos, F. Isaac, and P. Chila, “Diseño de un Sistema Óleo Hidráulico de Extracción de Manteca de Cacao,” Tesis de grado, ESPOL, Guayaquil, 2015.
- [23] “SALARIOS MÍNIMOS SECTORIALES Y TARIFAS 2025 COMISIÓN SECTORIAL No. 1 ‘AGRICULTURA Y PLANTACIONES,’” 2025. Accessed: Jan. 14, 2026. [Online]. Available: <https://asobanca.org.ec/wp-content/uploads/2024/12/Salarios-Minimos-Sectoriales-y-Tarifas-2025.pdf>

Apéndice A

a. Selección de la cámara de extracción

Volumen inicial (V):

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (2.1)$$

$$V = \frac{4}{1080}$$

$$V = \mathbf{0.0037037} \text{ [m}^3\text{]}$$

Área de prensado (A):

$$A = \pi * \frac{d^2}{4} \quad (2.2)$$

$$A = \pi * \frac{0.127^2}{4}$$

$$A = \mathbf{0.012668} \text{ [m}^2\text{]}$$

Altura inicial (h_i):

$$h_i = \frac{V}{A} \quad (2.3)$$

$$h_i = \frac{0.0037037}{0.012668}$$

$$h_i = \mathbf{0.29} \text{ [m]} = \mathbf{290} \text{ [mm]}$$

Altura final (h_f):

$$h_f = 60\%h_i \quad (2.4)$$

$$h_f = 60\% * 0.29$$

$$h_f = \mathbf{0.17} \text{ [m]} = \mathbf{170} \text{ [mm]}$$

Stroke:

$$\Delta h = h_i - h_f \quad (2.5)$$

$$\Delta h = 0.29 - 0.17$$

$$\Delta h = \mathbf{0.12} \text{ [m]} = \mathbf{120} \text{ [mm]}$$

Fuerza de la gata hidráulica:

$$F = P * A \quad (2.6)$$

$$F = 15 \times 10^6 * 0.012668$$

$$F = 190,015 [N]$$

Esfuerzo permisible del material (σ_p):

$$\sigma_p = \frac{S_y}{FS} \quad (2.7)$$

$$\sigma_p = \frac{225.5}{2}$$

$$\sigma_p = 112.75 [MPa]$$

Esfuerzo tangencial máximo (σ_{max}):

$$\sigma_{max} = \frac{P(b^2+a^2)}{b^2-a^2} \quad (2.8)$$

$$\sigma_{max} = \frac{15(0.07302^2 + 0.0635^2)}{0.07302^2 - 0.0635^2}$$

$$\sigma_{max} = 108.08 [MPa]$$

b. Selección de gata hidráulica

Capacidad de gata hidráulica en toneladas:

$$Capacidad = \frac{F}{9806.65} \quad (2.9)$$

$$Capacidad = \frac{190,015}{9806.65}$$

$$Capacidad = 19.38 [ton] \approx 21 [ton]$$

c. Diseño de vigas transversales y verticales

Momento flector máximo:

$$M_{max} = \frac{FL}{8} \quad (2.10)$$

$$M_{max} = \frac{190,015 * 0.5}{8} 0.58$$

$$M_{max} = 11,875.96 [N * m]$$

Módulo de resistencia (W):

$$W = \frac{M_{max} * FS}{S_y} \quad (2.12)$$

$$W = \frac{11,875.96 * 2.5}{250 * 10^6}$$

$$W = 1.19 * 10^{-4} [m^3] = 119 [cm^3]$$

d. Selección de resortes

Peso del conjunto móvil (F_{cm}):

$$F_{cm} = (m_{gata} + m_{viga\ móvil}) * g \quad (2.13)$$

$$F_{cm} = (10 + 3) * 9.81$$

$$F_{cm} = 127.53 [N]$$

Fuerza total de retorno (F_t):

$$F_t = F_{cm} + F_f \quad (2.15)$$

$$F_t = 127.53 + 98.1$$

$$F_t = 225.63 [N]$$

Fuerza de cada resorte (F_r):

$$F_r = \frac{F_t}{n} \quad (2.16)$$

$$F_r = \frac{225.63}{2}$$

$$F_r = 112.815 [N]$$

Desplazamiento de los resortes (Δx):

$$\Delta x = 0.166 [m]$$

Constante elástica (k):

$$k = \frac{F_r}{\Delta x} \quad (2.17)$$

$$k = \frac{112.815}{0.092}$$

$$k = 1226.25 [N/m]$$

e. **Soldadura viga IPE 180 con tubos cuadrados.**

Fuerza del cordón (F_{cordon}):

$$F_{cordon} = \frac{M}{d_{centros}} \quad (2.18)$$

$$F_{cordon} = \frac{23751.9}{0.16}$$

$$F_{cordon} = 148,449 [N]$$

Esfuerzo admisible (τ_{adm}):

$$\tau_{adm} = 0.4 * f_u \quad (2.19)$$

$$\tau_{adm} = 0.4 * 400$$

$$\tau_{adm} = 160 [MPa]$$

Área de soldadura (A_{sol}):

$$A_{sol} = \frac{F_{cordon}}{\tau_{adm}} \quad (2.20)$$

$$A_{sol} = \frac{148,449}{160 \times 10^6}$$

$$A_{sol} = 0.000928 [m^2]$$

Garganta (a):

$$a = \frac{A_{sol}}{h_{efe}} \quad (2.21)$$

$$a = \frac{0.000928}{0.180}$$

$$a = 0.005 [m] = 5 [mm]$$

Pierna (z):

$$z = \frac{a}{0.707} \quad (2.22)$$

$$z = \frac{0.005}{0.707}$$

$$z = 0.0073 [m] = 7.3 [mm]$$

f. Soldadura tubos cuadrados con bases fijas.

Esfuerzo admisible (τ_{adm}):

$$\tau_{adm} = 0.4 * f_u \quad (2.19)$$

$$\tau_{adm} = 0.4 * 400$$

$$\tau_{adm} = 160 [MPa]$$

Área de soldadura (A_{sol}):

$$A_{sol} = \frac{F_{cordon}}{\tau_{adm}} \quad (2.20)$$

$$A_{sol} = \frac{190015/2}{160 \times 10^6}$$

$$A_{sol} = 0.00059 [m^2]$$

Garganta (a):

$$a = \frac{A_{sol}}{h_{efe}} \quad (2.21)$$

$$a = \frac{0.00059}{0.4}$$

$$a = 0.001 [m] = 1 [mm] \approx 3 [mm]$$

Pierna (z):

$$z = \frac{a}{0.707} \quad (2.22)$$

$$z = \frac{0.003}{0.707}$$

$$z = 0.0042 [m] = 4.2 [mm]$$

g. Análisis Económico**Ingresos (I):**

$$I = \text{precio} \times \text{cantidad} \quad (2.23)$$

$$I = 22.41 \times 10$$

$$I = 224.10 \text{ [\$]}$$

Utilidad (U):

$$U = I - E \quad (2.24)$$

$$U = 224.10 + 143.70 - 350 - 2 * 3.04 - 5$$

$$U = 6.72 \text{ [\$]}$$

Apéndice B

Figura 13

Selección de diámetro de tubería y espesor para la cámara de extracción

Tubería de acero inoxidable cédula 80 Especificaciones Generales:

Diámetro nominal pulgadas	(D) Diámetro nominal mm.	SCH 80S	
		(e) Espesor en mm.	Peso en Kg/MTL
1/8	10,29	2,41	0,5
1/4	13,72	3,02	0,84
3/8	17,15	3,2	1,15
1/2	21,34	3,7	1,69
3/4	26,67	3,9	2,28
1	33,4	4,55	3,35
1¼	42,16	4,85	4,6
1½	48,26	5,08	5,57
2	60,33	5,54	7,68
2½	73,03	7,01	11,7
3	88,9	7,62	15,64
4	114,3	8,56	22,83
5	141,3	9,52	31,62
6	168,3	10,97	43,48
8	219,1	12,7	65,99
10	273,05	12,7	83,2
12	323,85	12,7	99,41
14	355,6	-	-
16	406,4	-	-
18	457,2	-	-
20	508	-	-
22	558,8	-	-
24	609,6	-	-



Calidad:	AISI 304
Otras calidades:	Previa consulta
Largo normal:	6,00m
Otros largos:	Previa consulta
Acabados:	Natural
Otros acabados:	Previa consulta

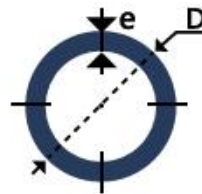


Figura 14

Selección de vigas para la estructura base

PERFILES IPE																					
Perfil	Dimensiones							Términos de la sección										Agujeros			Peso p kp/m
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r mm	h ₁ mm	u mm	A cm	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _z cm ⁴	I _z cm ⁶	w mm	a mm	e ₂ mm	
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118			3,8	6,00
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,3	19,7	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	1,140	351			4,1	8,10
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,2	30,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	1,770	890	35		4,4	10,4
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,4	44,2	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	2,630	1981	40	11	4,7	12,9
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,1	61,9	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	3,640	3959	44	13	5	15,8
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	698	23,9	83,2	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	5,060	7431	48	13	5,3	18,8
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,5	110	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	6,670	12990	52	13	5,6	22,4
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	178	848	33,4	143	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	9,150	22670	58	17	5,9	26,2
IPE 240	240	120	6,2	9,8	15	190	922	39,1	183	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	12,00	37390	65	17	6,2	30,7
IPE 270	270	135	6,6	10,2	15	220	1040	45,9	242	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	15,40	70580	72	21	6,6	36,1
IPE 300	300	150	7,1	10,7	15	249	1160	53,8	314	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	20,10	125900	80	23	7,1	42,2
IPE 330	330	160	7,5	11,5	18	271	1250	62,6	402	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	26,50	199100	85	25	7,5	49,1
IPE 360	360	170	8,0	12,7	18	299	1350	72,7	510	16270	904	15,0	1040	123	3,79	37,30	313600	90	25	8	57,1
IPE 400	400	180	8,6	13,5	21	331	1470	84,5	657	23130	1160	16,5	1320	146	3,95	48,30	490000	95	28	8,6	66,3
IPE 450	450	190	9,4	14,6	21	379	1610	98,8	851	33740	1500	18,5	1680	176	4,12	65,90	791000	100	28	9,4	77,6
IPE 500	500	200	10,2	16,0	21	426	1740	116	1100	48200	1930	20,4	2140	214	4,31	91,80	1249000	110	28	10,2	90,7
IPE 550	550	210	11,1	17,2	24	468	1880	134	1390	67120	2440	22,3	2640	254	4,45	122,0	1884000	115	28	11,1	106
IPE 600	600	220	12,0	19,0	24	514	2010	155	1760	92080	3070	24,3	3390	308	4,66	172,0	2846000	120	28	12,0	122

Figura 15

Selección de gata hidráulica

Gatos de botella
TRUPER

Aceite para gato hidráulico
Ver en página 18 >>

- Con dispositivo de extensión (tornillo) que incrementa la altura máxima
- Para un óptimo funcionamiento utilice aceite hidráulico SAE-30

Operación horizontal
Pueden utilizarse para empujar elementos horizontalmente, cuidando que el sistema de bombeo quede hacia abajo

NOM
Cumplen la Norma Oficial Mexicana: NOM-114-SCFI (excepto: GAT-50 y GAT-32)

HECHO EN MÉXICO Excepto: GAT-50, GAT-32, GAT-20



NC 2 **50 t**



32 t



21 t



16 t



12 t



8 t



6 t



4 t



2 t

Código:	14821	14819	14822	14820	14818	14816	14814+	14812+	14810+
Clave:	GAT-50	GAT-32	GAT-20	GAT-16	GAT-12	GAT-8	GAT-6	GAT-4	GAT-2
Altura máx. / mín.:	48 / 29.5 cm	42.5 / 26 cm	47.5 / 24 cm	47.5 / 23 cm	47.5 / 23 cm	47 / 23 cm	43.5 / 21.5 cm	38.5 / 19.5 cm	35 / 18 cm

Figura 16

Selección de resortes



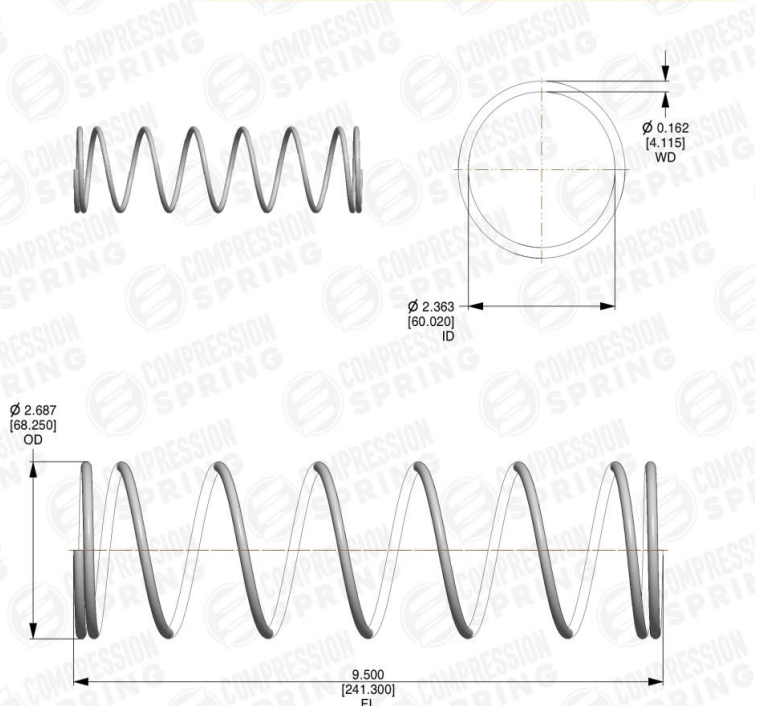
Force that EMPOWERS

STOCK SPRING

sales@compressionspring.com Ph 951 276 2777
 2225 E. Cooley Dr Colton, CA 92324
 www.compressionpring.com

Part Name:	Date: 01/14/2026
Part #: in <small>(Click to see Part # on Website)</small>	PC162-2687-8500-SST-9500-C-N-IN ↗
Spring Type: Compression Spring	End Type: Closed End
Finish: None	Direction of Wind: Right Hand
Material: Stainless 302 ASTM A313	Spring Index (I): 15.586
Weight / M: 401.676 Lbs	Length of W: 67.426 in

Physical Dimensions	IN	MM	Tolerances (in)
Wire Diameter (WD)	0.162 in	[4.115 mm]	+/- 0.001
Outer Diameter (OD)	2.687 in	[68.250 mm]	+/- 0.090
Mean Diameter (MD)	2.525 in	[64.135 mm]	+/- 0.090
Inner Diameter (ID)	2.363 in	[60.020 mm]	+/- 0.090
Free Length (FL)	9.500 in	[241.300 mm]	+/- 0.300
Active Coils (AC)	6.500	6.500	+/- 1/4 Coil
Total Coils (TC)	8.500	8.500	+/- 1/4 Coil
Solid Height (SH)	1.539 in	[39.091 mm]	+/- 0.108
Coil Pitch (CP)	1.387 in	[35.225 mm]	
Rise Angle (RA)	9.916	[9.916]	
Spring Rate (K)	8.186 lbs/in	1.434 N/mm	+/- 0.819
Max Load (ML)	58.401 lbf	259.781 N	+/- 5.840
Max Travel (MT)	7.134 in	181.209 mm	
Material Shear Modulus (G)	9949475.938 PSI	68599221788.087 Pa	
Max Shear Stress Possible (t max)	96350.000 PSI	664309865.181 Pa	
Wahl Correction Factor (W)	1.091	1.091	



Notes	Scale: 0.537	Revision #:	Drawn By:	Approved By:
	This file and any associated information and specifications are provided for reference and evaluation purposes only, and is subject to change without notice. Access Spring makes no representations, warranties or guarantees as to the appropriateness, accuracy, completeness, or suitability for any purpose, of the file, information or specifications. You are solely responsible for the use of the file, information or specification.			This Drawing is the property of ACCESS SPRING It may contain confidential, proprietary information, that is Access Spring property. Do not disclose to or duplicate for others except as authorized by Access Spring.

Apéndice C

Estructura Base

Figura 17

Radio de aspecto de la estructura base

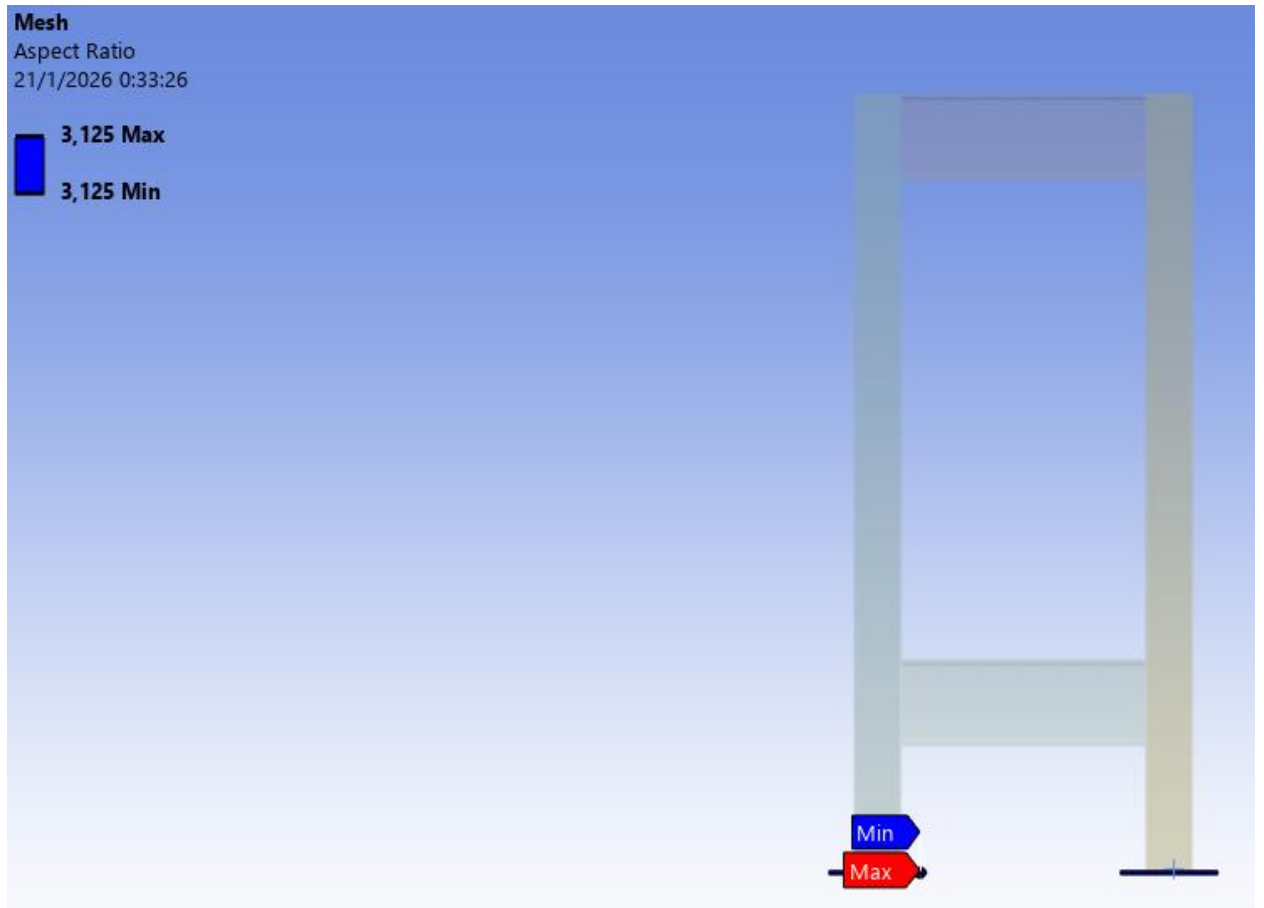


Figura 18

Jacobiano de la estructura base

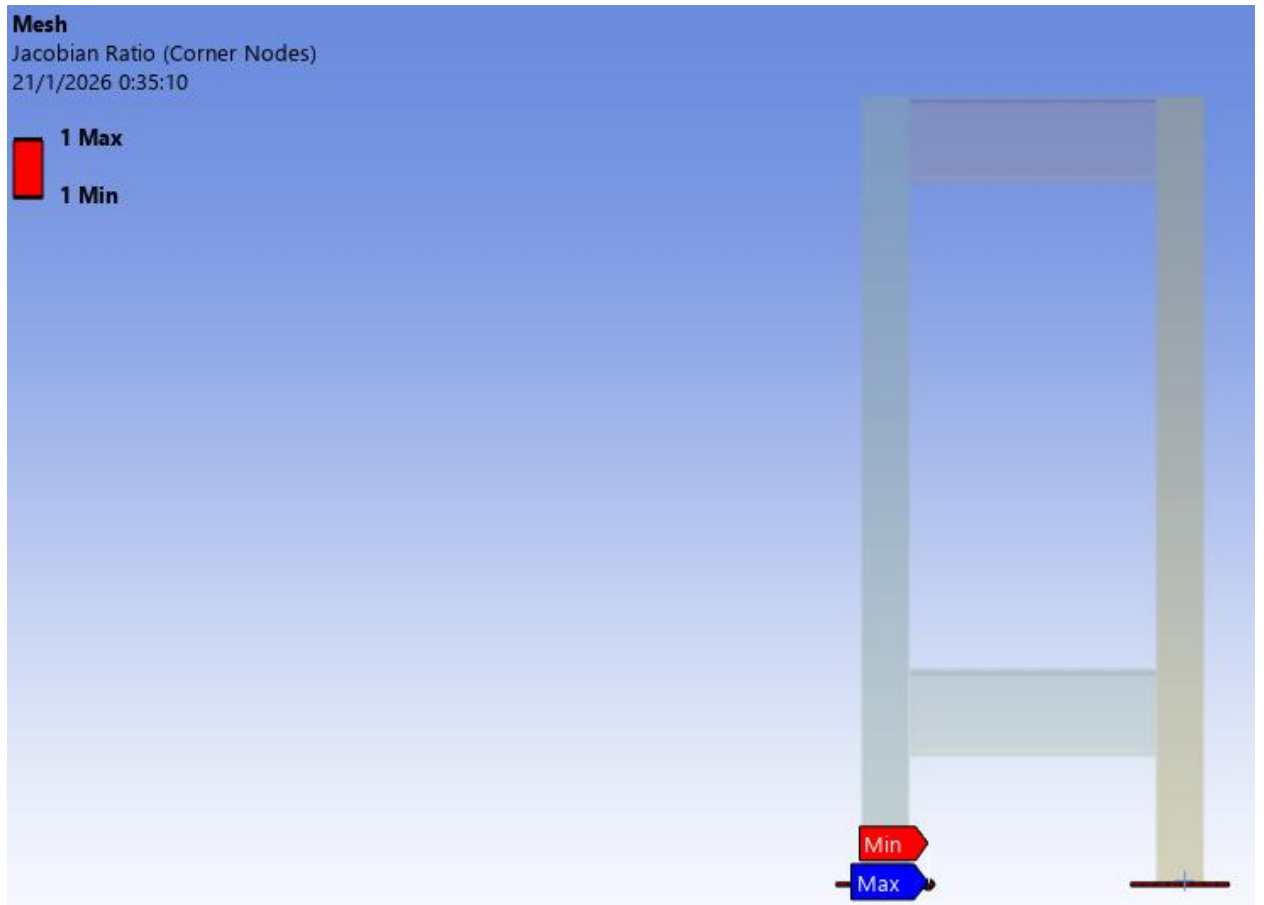


Figura 19

Factor de ángulo de deformación de la estructura base

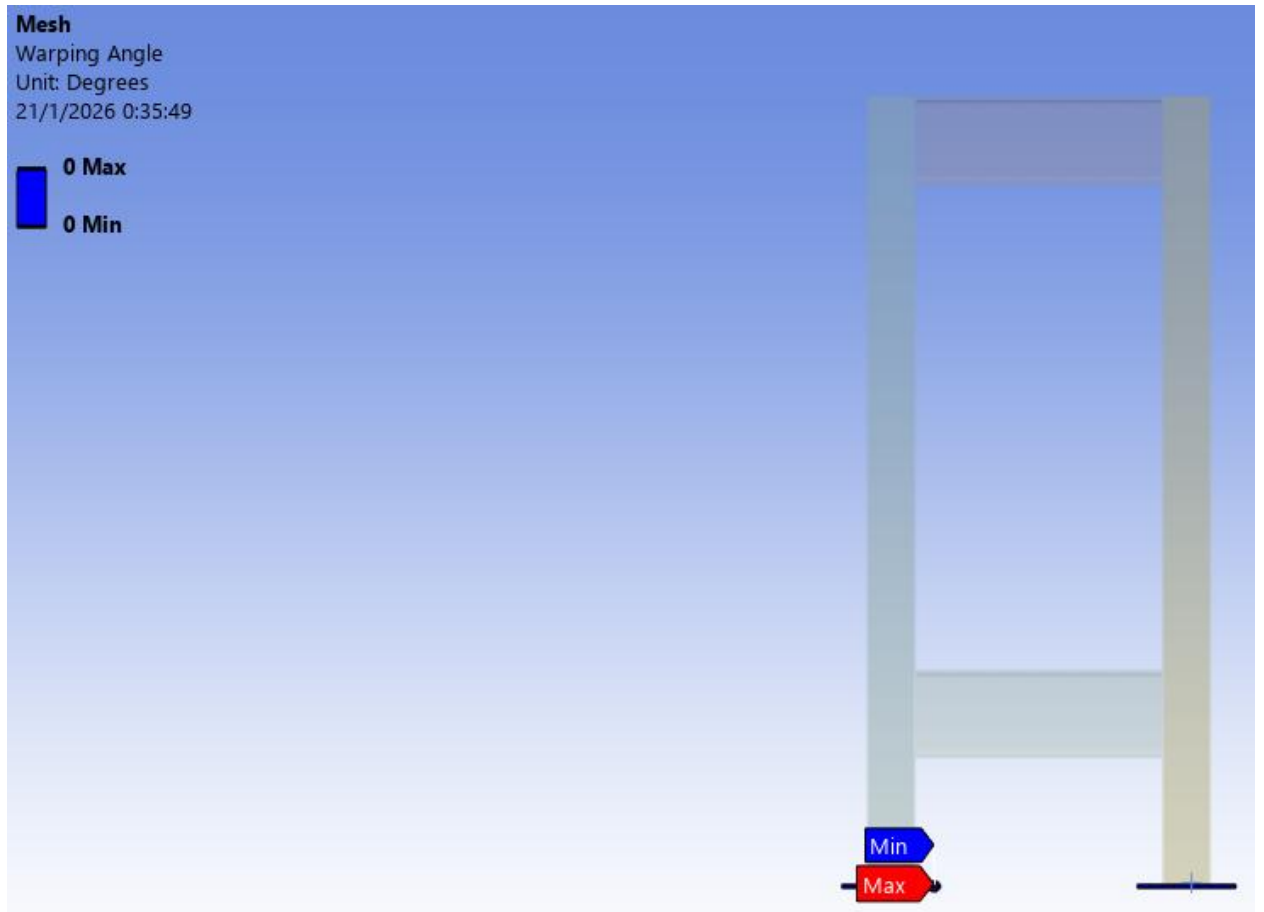


Figura 20

Desviación paralela de la estructura base

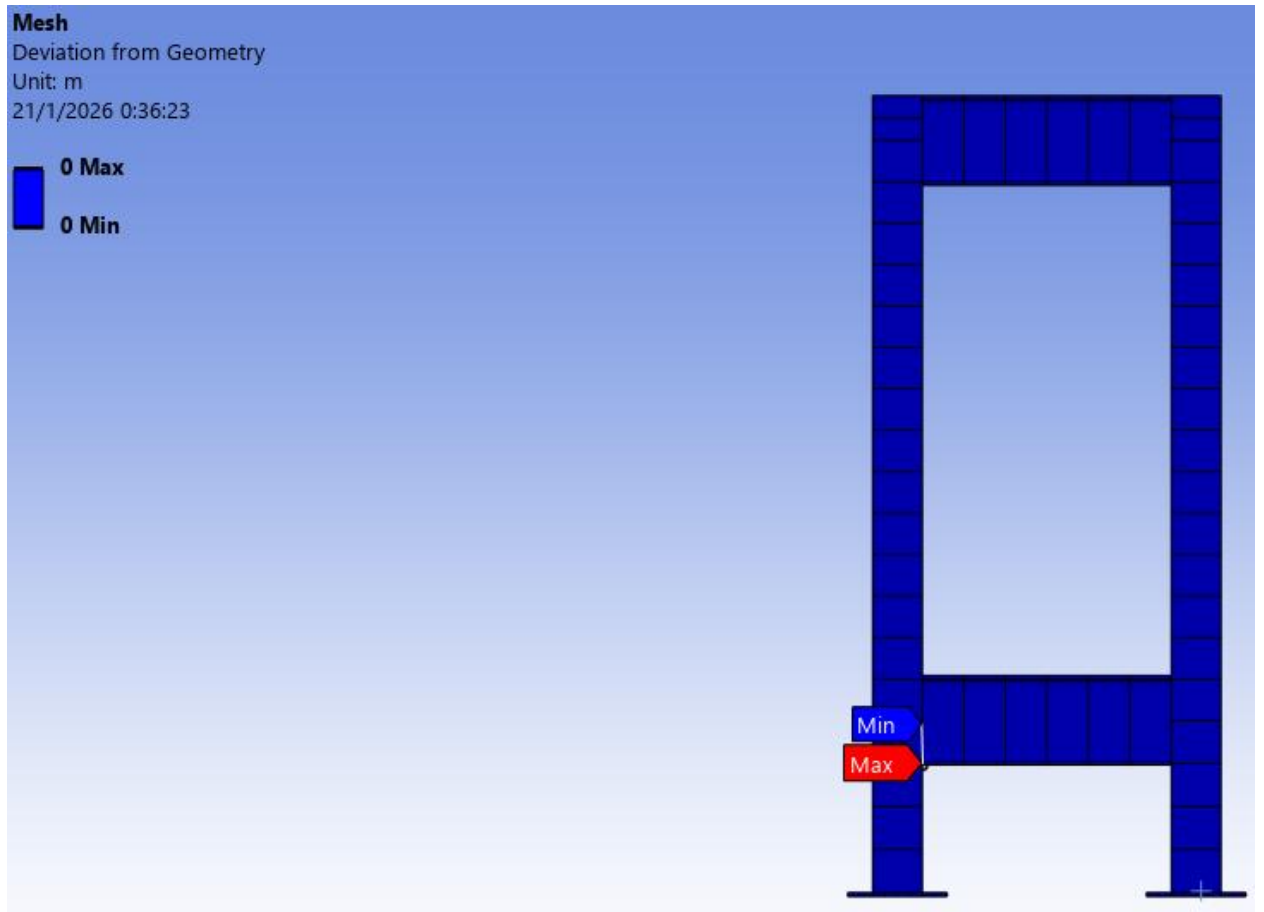
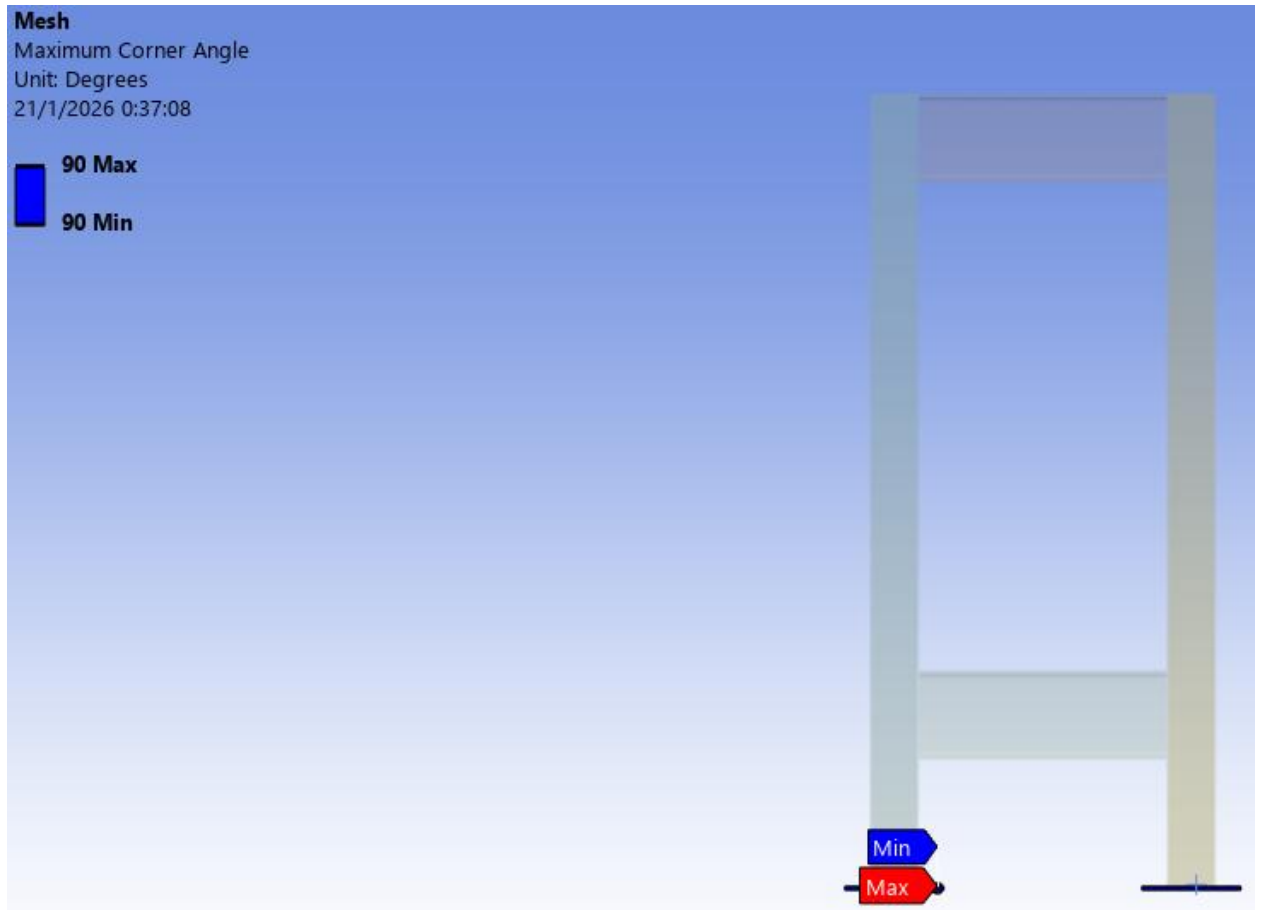


Figura 21

Ángulo de esquina máximo de la estructura base



Cámara de extracción

Figura 22

Radio de aspecto de la cámara de extracción

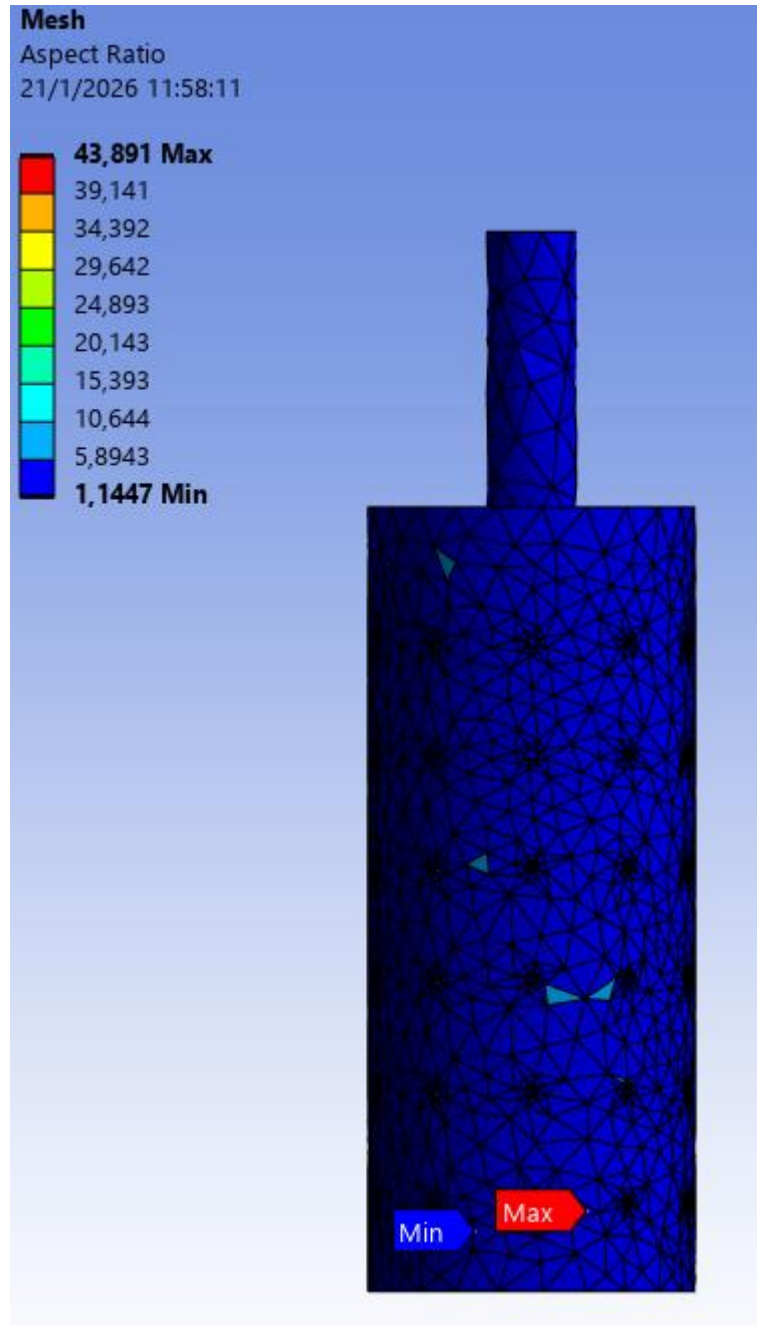


Figura 23

Jacobiano de la cámara de extracción

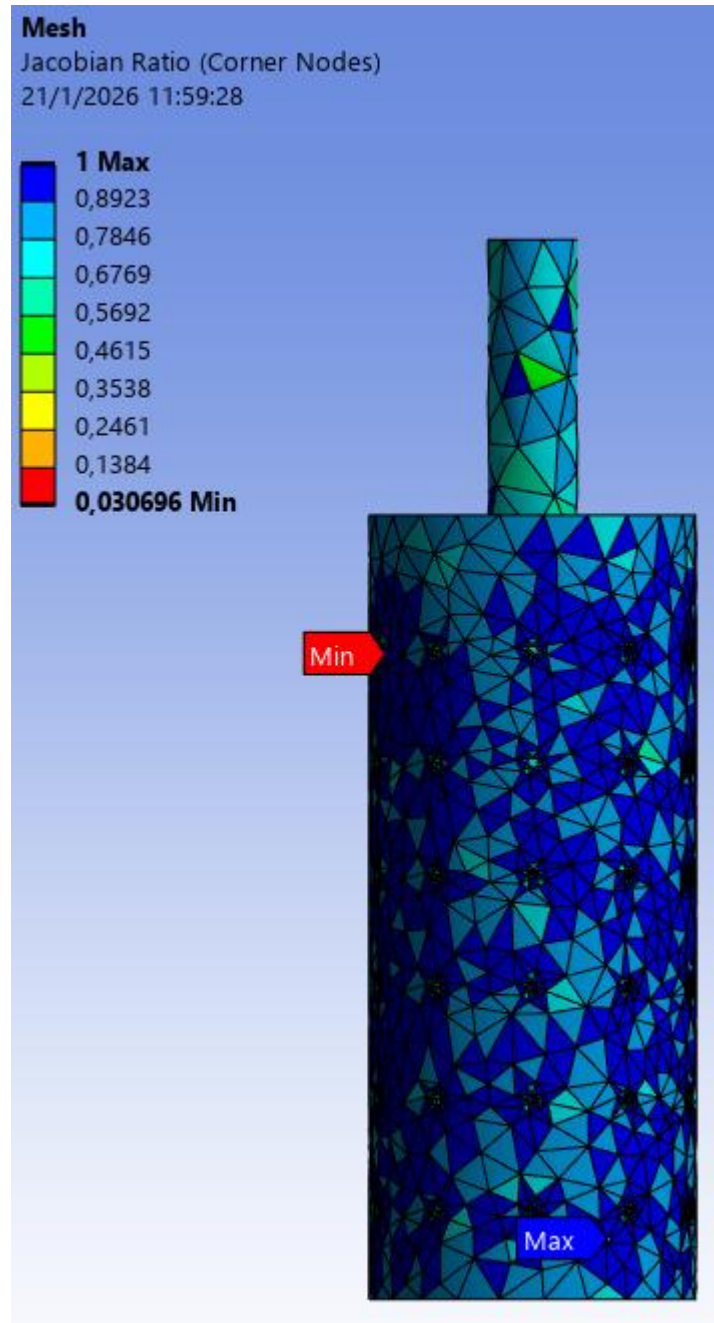


Figura 24

Factor de ángulo de deformación de la cámara de extracción

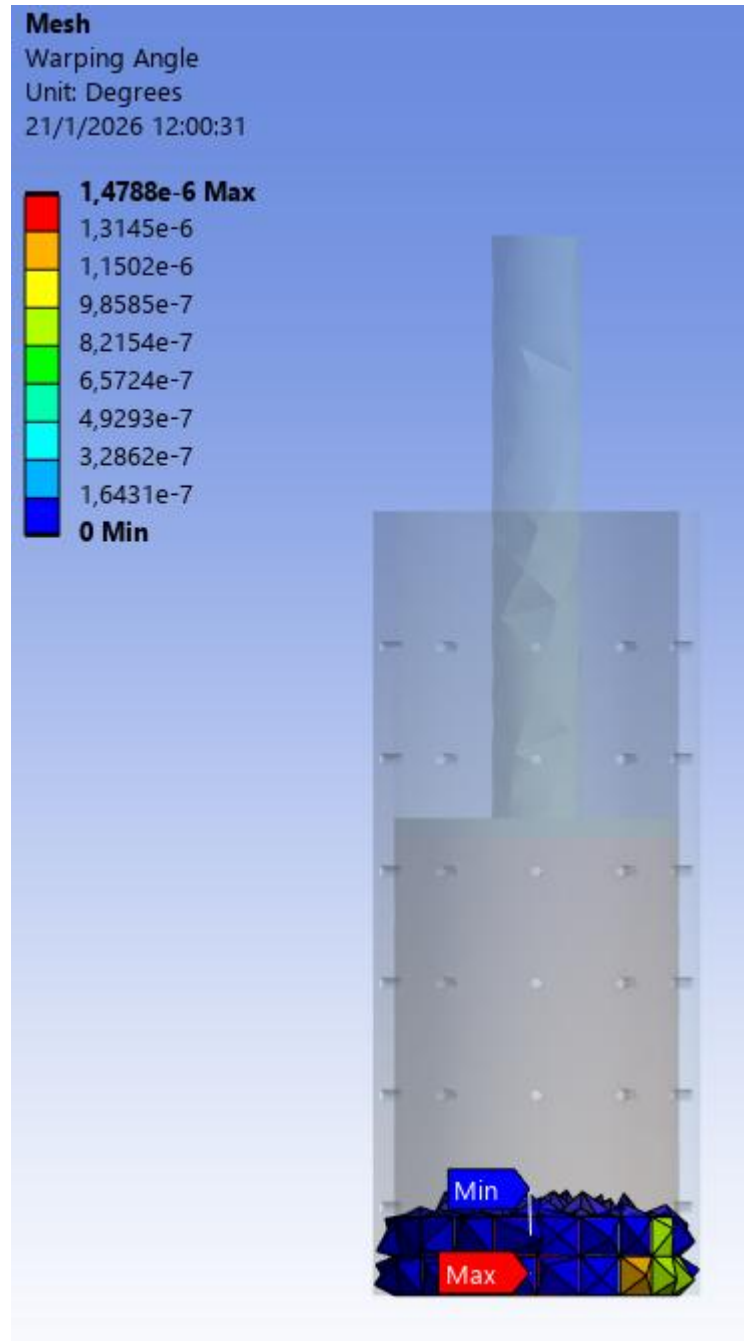


Figura 25

Desviación paralela de la cámara de extracción

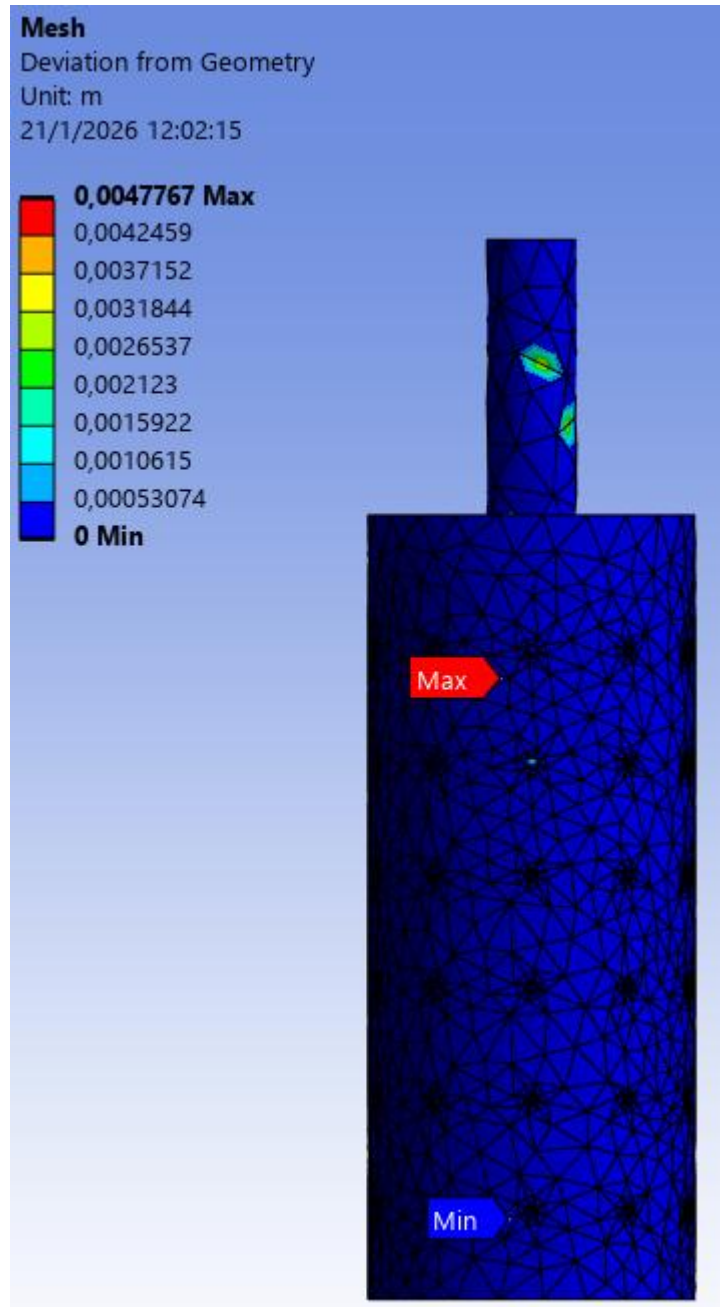
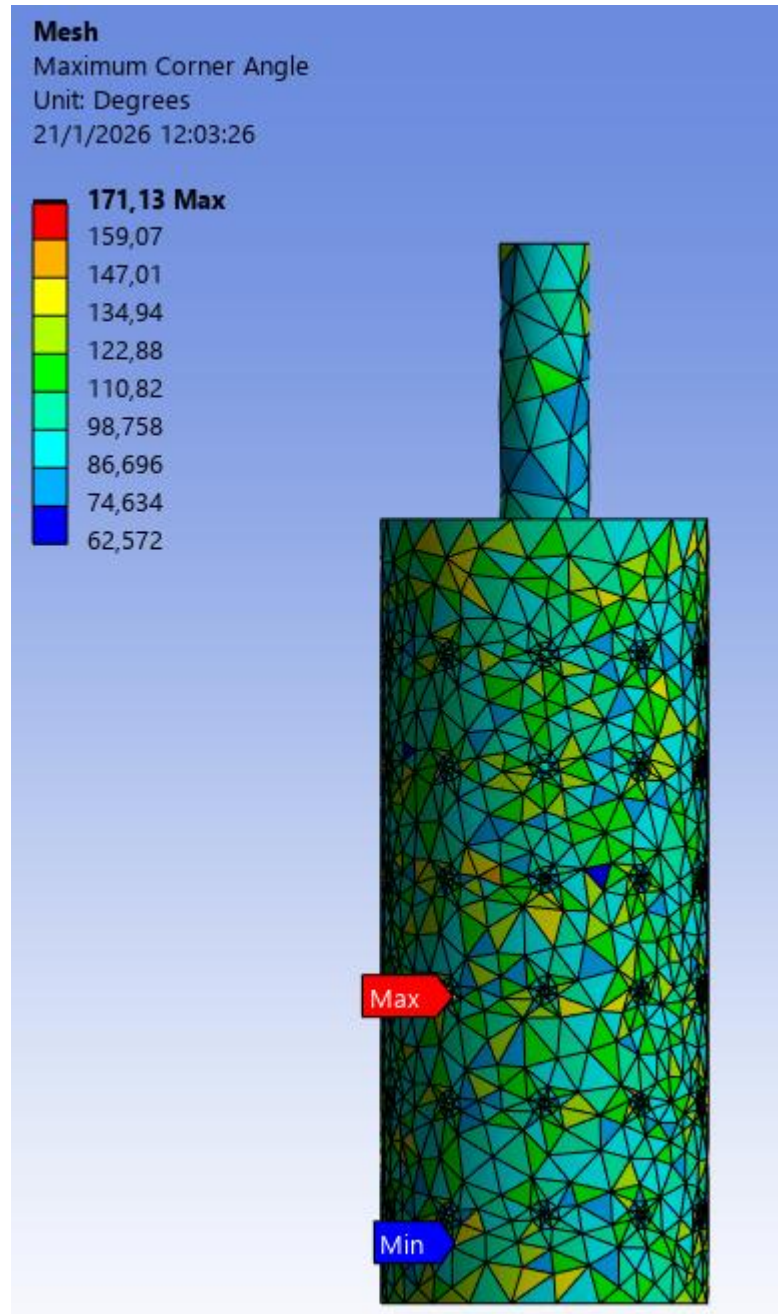


Figura 26

Ángulo de esquina máximo de la cámara de extracción



Apéndice D

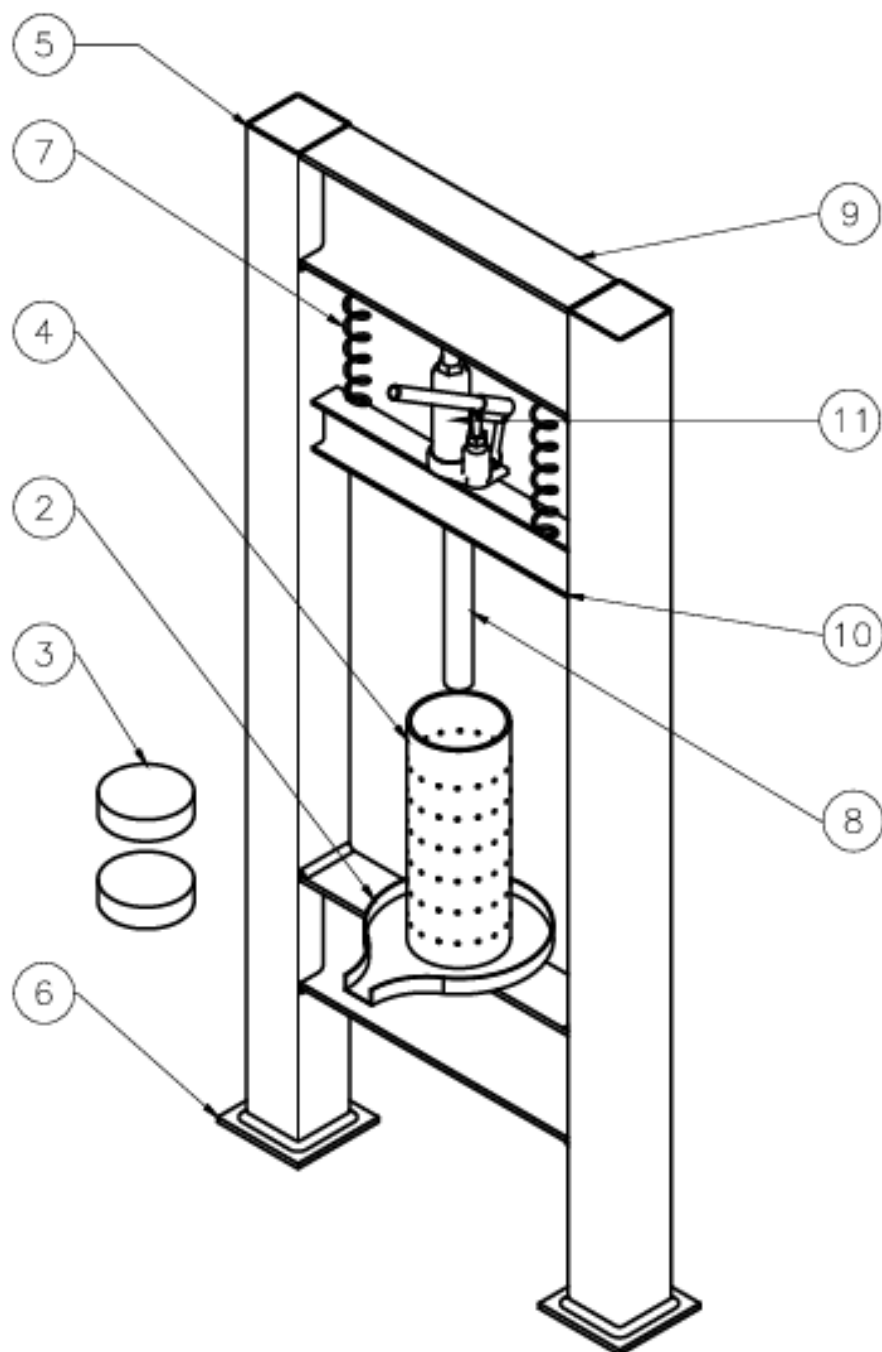
Tabla 35

Análisis económico recuperación de la inversión

Análisis Económico					
Horas prensadas	Ingresos	Egresos	Utilidad	Costo de la prensa+diseño y matriz de riesgo (inversión)	Retorno de la inversión
1	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$655,25	\$648,53
2	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$648,53	\$641,81
3	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$641,81	\$635,09
4	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$635,09	\$628,37
5	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$628,37	\$621,65
6	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$621,65	\$614,93
7	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$614,93	\$608,21
8	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$608,21	\$601,49
9	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$601,49	\$594,77
10	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$594,77	\$588,05
11	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$588,05	\$581,33
...
90	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$57,17	\$50,45
91	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$50,45	\$43,73
92	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$43,73	\$37,01
93	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$37,01	\$30,29
94	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$30,29	\$23,57
95	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$23,57	\$16,85
96	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$16,85	\$10,13
97	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$10,13	\$3,41
98	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$3,41	\$-3,31
99	\$367,80	\$361,08	\$6,72	\$-3,31	\$-10,03

Apéndice E

Planos



espol Facultad de Ingeniería en
Mecánica y Ciencias de la Producción

CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADÉMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO ARÉVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA ERNESTO MARTÍNEZ
DISEÑADO POR: ANGELO MENDOZA/ GUIDO AREVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

PROYECTO:

PRENSA HIDRAULICA MANUAL

TITULO:

ISOMETRICO-LISTA DE MATERIALES

ESCALA:
1:20

FECHA:
30/01/26

CÓDIGO DEL PLANO:
PHM-100-000

HOJA: 1
DE: 2

REV.:
A

LISTADO DE MATERIALES

NO. PIEZA	DESCRIPCION	MATERIAL
2	BANDEJA DE RECOLECCION	PLANCHA ACERO INOXIDABLE A304 2MM
3	BASE	ACERO A36
4	CAMARA DE EXTRACCION	TUBO ACERO INOXIDABLE A304 5" SCH40
5	COLUMNA ESTRUCTURAL	TUBO CUADRADO 100X100X4 ACERO A36
6	PLACA BASE	PLANCHA ACERO A36 8MM
7	RESORTE	ACERO AISI 6150
8	VÁSTAGO DE COMPRESIÓN	ACERO INOXIDABLE AISI 304
9	VIGA HORIZONTAL	VIGA IPE 180 HIERRO NEGRO
10	VIGA MÓVIL	VIGA IPE 80 HIERRO NEGRO
11	GATA HIDRAULICA	---

espol Facultad de Ingeniería en
Mecánica y Ciencias de la Producción

CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADÉMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO AREVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA: ERNESTO MARTÍNEZ
DISERADO POR: ANGELO MENDOZA/ GUIDO AREVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

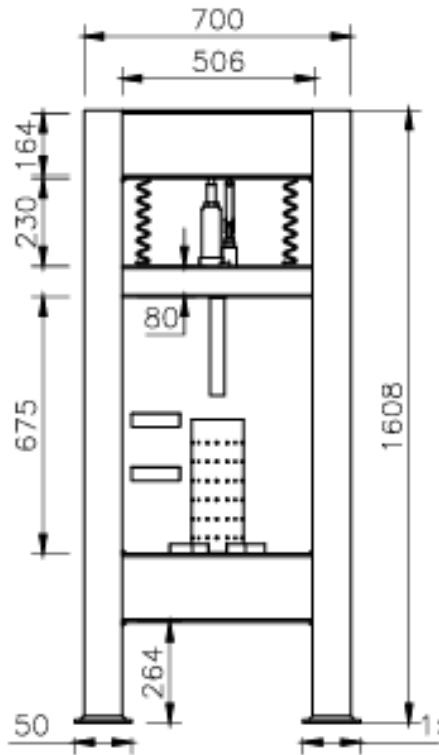
PROYECTO:

PRENSA HIDRAULICA MANUAL

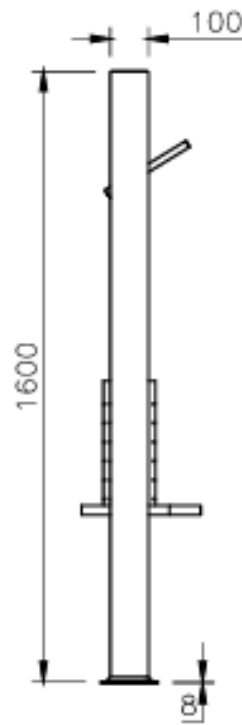
TITULO:

ISOMETRICO-LISTA DE MATERIALES

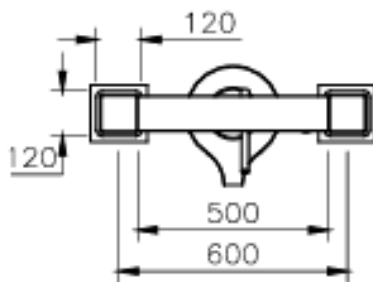
ESCALA: 1:20	FECHA: 30/01/26	CÓDIGO DEL PLANO: PHM-100-000	HOJA: 2 DE: 2	REV.: A
-----------------	--------------------	----------------------------------	------------------	------------



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:20



VISTA LATERAL
ESCALA 1:20



VISTA SUPERIOR
ESCALA 1:20



PROYECTO:

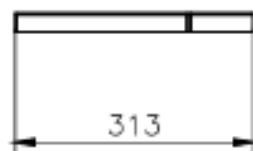
PRENSA HIDRAULICA MANUAL

TITULO:

ENSAMBLE DE PRENSA HIDRULICA MANUAL

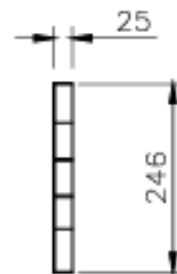
CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADEMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERIA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO AREVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA ERNESTO MARTÍNEZ
DISEÑADO POR: ANGELO MENDOZA/ GUIDO AREVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

ESCALA: 1:20	FECHA: 30/01/26	CÓDIGO DEL PLANO: PHM-100-001	HOJA: 1 DE: 1	REV.: A
-----------------	--------------------	----------------------------------	------------------	------------



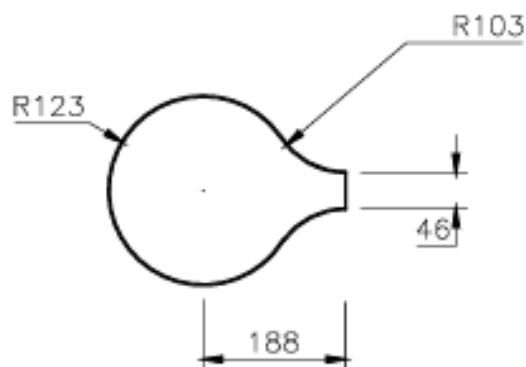
VISTA FRONTAL

ESCALA 1:10



VISTA LATERAL

ESCALA 1:10



VISTA SUPERIOR

ESCALA 1:10



VISTA ISOMETRICA

ESCALA 1:10

espol Facultad de Ingeniería en
Mecánica y Ciencias de la Producción

CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADÉMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO ARÉVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA: ERNESTO MARTÍNEZ
DISEÑADO POR: ÁNGELO MENDOZA / GUIDO ARÉVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

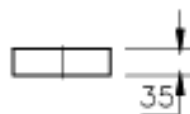
PROYECTO:

PRENSA HIDRAULICA MANUAL

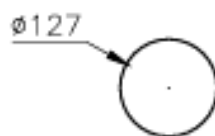
TÍTULO:

BANDEJA DE RECOLECCIÓN

ESCALA:
1:10FECHA:
30/01/26CÓDIGO DEL PLANO:
PHM-100-002HOJA: 1
DE: 1REV.:
A



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:10



VISTA SUPERIOR
ESCALA 1:10



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:10

espol Facultad de Ingeniería en
Mecánica y Ciencias de la Producción

CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADÉMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO ARÉVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA ERNESTO MARTÍNEZ
DISEÑADO POR: ANGELO MENDOZA/ GUIDO ARÉVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

PROYECTO:

PRENSA HIDRAULICA MANUAL

TITULO:

BASE

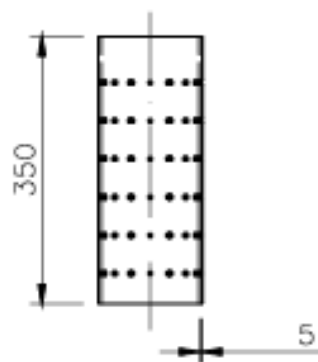
ESCALA:
1:10

FECHA:
30/01/26

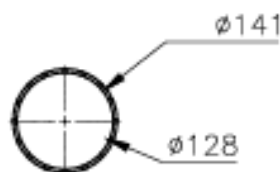
CÓDIGO DEL PLANO:
PHM-100-003

HOJA: 1
DE: 1

REV.:
A



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:10



VISTA SUPERIOR
ESCALA 1:10



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:10

espol

Facultad de Ingeniería en
Mecánica y Ciencias de la Producción

CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADÉMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO ARÉVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA: ERNESTO MARTÍNEZ
DISEÑADO POR: ÁNGELO MENDOZA/ GUIDO ARÉVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

PROYECTO:

PRENSA HIDRAULICA MANUAL

TITULO:

CÁMARA DE RECOLECCIÓN

ESCALA:
1:10

FECHA:
30/01/26

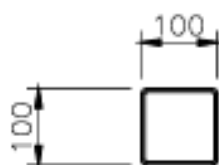
CÓDIGO DEL PLANO:
PHM-100-004

HOJA: 1
DE: 1

REV.:
A



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:20



VISTA SUPERIOR
ESCALA 1:10



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:20

espol Facultad de Ingeniería en
Mecánica y Ciencias de la Producción

CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADEMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO ARÉVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA ERNESTO MARTÍNEZ
DISEÑADO POR: ANGELO MENDOZA/ GUIDO AREVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

PROYECTO:

PRENSA HIDRAULICA MANUAL

TITULO:

COLUMNA ESTRUCTURAL

ESCALA:
1:10

FECHA:
30/01/26

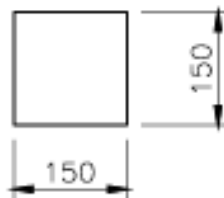
CÓDIGO DEL PLANO:
PHM-100-005

HOJA: 1
DE: 1

REV.:
A



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:20



VISTA SUPERIOR
ESCALA 1:10



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:20

espol Facultad de Ingeniería en
Mecánica y Ciencias de la Producción

CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADÉMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO ARÉVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA ERNESTO MARTÍNEZ
DISEÑADO POR: ANGELO MENDOZA/ GUIDO AREVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

PROYECTO:

PRENSA HIDRAULICA MANUAL

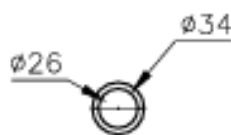
TITULO:

COLUMNA ESTRUCTURAL

ESCALA: 1:10	FECHA: 30/01/26	CÓDIGO DEL PLANO: PHM-100-006	HOJA: 1 DE: 1	REV.: A
-----------------	--------------------	----------------------------------	------------------	------------



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:5



VISTA SUPERIOR
ESCALA 1:5



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:5

espol Facultad de Ingeniería en
Mecánica y Ciencias de la Producción

CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADÉMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO AREVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA ERNESTO MARTÍNEZ
DISEÑADO POR: ANGELO MENDOZA/ GUIDO AREVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

PROYECTO:

PRENSA HIDRAULICA MANUAL

TITULO:

RESORTE

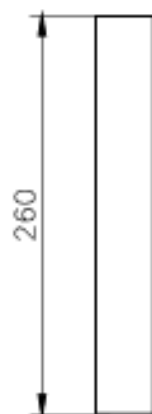
ESCALA:
1:5

FECHA:
30/01/26

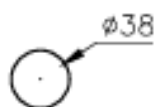
CÓDIGO DEL PLANO:
PHM-100-007

HOJA: 1
DE: 1

REV.:
A



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:5



VISTA SUPERIOR
ESCALA 1:5



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:5

espol Facultad de Ingeniería en
Mecánica y Ciencias de la Producción

CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADÉMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO ARÉVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA ERNESTO MARTÍNEZ
DISEÑADO POR: ANGELO MENDOZA/ GUIDO AREVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

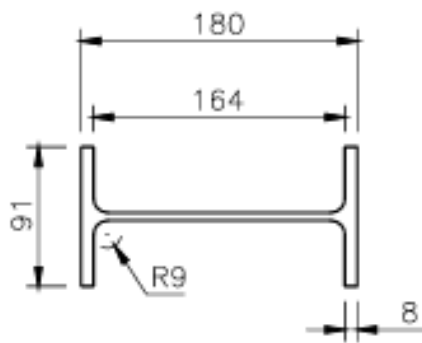
PROYECTO:

PRENSA HIDRAULICA MANUAL

TITULO:

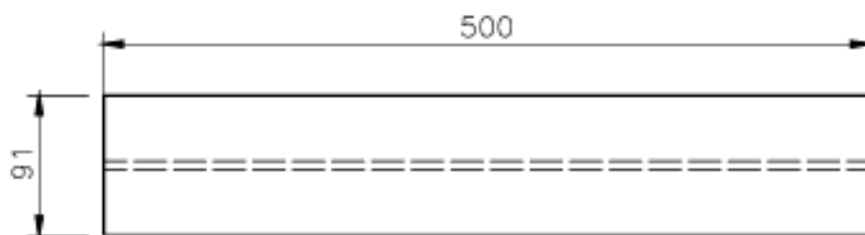
VÁSTAGO DE COMPRESIÓN

ESCALA: 1:5	FECHA: 30/01/26	CÓDIGO DEL PLANO: PHM-100-008	HOJA: 1 DE: 1	REV.: A
----------------	--------------------	----------------------------------	------------------	------------



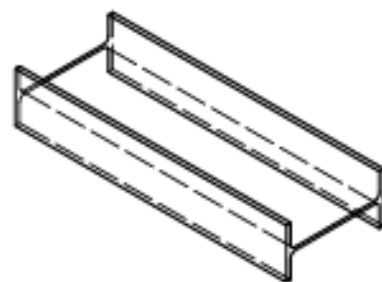
VISTA LATERAL

ESCALA 1:5



VISTA FRONTAL

ESCALA 1:5



VISTA ISOMETRICA

ESCALA 1:5

espol Facultad de Ingeniería en
Mecánica y Ciencias de la Producción

CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADÉMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO ARÉVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA ERNESTO MARTÍNEZ
DISEÑADO POR: ANGELO MENDOZA/ GUIDO AREVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

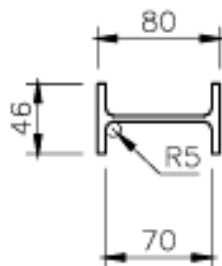
PROYECTO:

PRENSA HIDRAULICA MANUAL

TITULO:

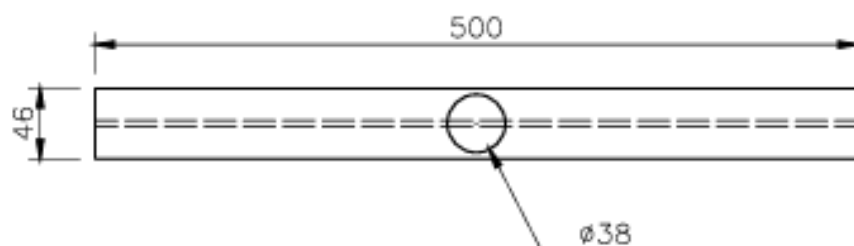
VIGA HORIZONTAL

ESCALA:
1:5FECHA:
30/01/26CÓDIGO DEL PLANO:
PHM-100-009HOJA: 1
DE: 1REV.:
A



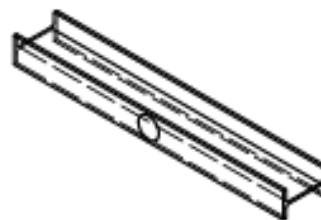
VISTA LATERAL

ESCALA 1:5



VISTA FRONTAL

ESCALA 1:5



VISTA ISOMETRICA

ESCALA 1:10

espol Facultad de Ingeniería en
Mecánica y Ciencias de la Producción

CURSO: MATERIA INTEGRADORA	PERIODO ACADÉMICO: PAO 2025 II
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA	PARALELO: 3
DIBUJADO POR: GUIDO ARÉVALO	TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA ERNESTO MARTÍNEZ
DISEÑADO POR: ANGELO MENDOZA/ GUIDO AREVALO	REVISADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ
APROBADO POR: ERNESTO MARTÍNEZ	

PROYECTO:

PRENSA HIDRAULICA MANUAL

TÍTULO:

VIGA MÓVIL

ESCALA: 1:5	FECHA: 30/01/26	CÓDIGO DEL PLANO: PHM-100-010	HOJA: 1 DE: 1	REV.: A
----------------	--------------------	----------------------------------	------------------	------------