



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS TABASCO**

POSTGRADO EN PRODUCCION AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO  
PARA DESGRASAR CACAO (*Theobroma cacao* L.) A UNA ESCALA  
PEQUEÑA**

**FRANCISCO ALFONSO LIRA MORALES**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

CARDENAS, TABASCO

2010

La presente tesis, titulada: **Diseño, construcción y evaluación de un prototipo para desgrasar cacao (*Theobroma, cacao* L.) a una escala pequeña**, realizada por el alumno: **Francisco Alfonso Lira Morales**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

  
DR. VÍCTOR CÓRDOVA ÁVALOS

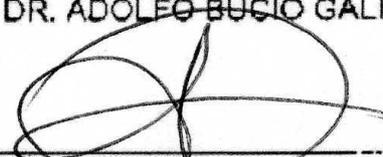
ASESOR:

  
DR. CÉSAR JESUS VÁZQUEZ NAVARRETE

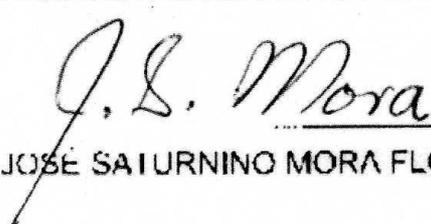
ASESOR:

  
DR. ADOLEO BUCIO GALINDO

ASESOR:

  
DR. ARMANDO GUERRERO PEÑA

ASESOR:

  
DR. JOSÉ SATURNINO MORA FLORES

H. Cárdenas, Tabasco, México, a 22 de septiembre del 2010

# DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA DESGRASAR CACAO (*Theobroma, cacao L.*) A UNA ESCALA PEQUEÑA

Francisco Alfonso Lira Morales, MC

Colegio de Postgraduados, 2010

La grasa es el producto derivado del cacao de mayor valor económico (Beckett 2000), esta se obtiene mediante un proceso de prensado hidráulico de vaso caliente (Bailey 1984) a una presión de 500 kg/cm<sup>2</sup> (Yanes 1994). La tecnología del prensado se enfoca a capacidades industriales por lo que son inaccesibles para productores de cacao. El objetivo general de la investigación fue construir un prototipo para extraer grasa a la escala de un productor de una hectárea de cacao. El primer objetivo específico fue evaluar la eficiencia máxima del prototipo a 500 kg/cm<sup>2</sup> y el segundo objetivo fue evaluar las eficiencias máximas de extracción aplicando presiones inferiores a los 500 kg/cm<sup>2</sup> durante diferentes tiempos de drenaje. La metodología se basó en la mecánica de materiales, tecnología de las grasas, el diseño de máquinas y el diseño de análisis de experimentos. El diseño fue completamente al azar con un factor. Los doce tratamientos fueron combinaciones de cuatro niveles de presión (150, 250, 350 y 500 kg/cm<sup>2</sup>) y tres niveles de tiempo de drenaje (30, 45 y 60 min) con tres repeticiones cada una. Los resultados validan la información de la literatura pues la extracción máxima de 87-92 % coincide con la extracción industrial de 85-90 % (Yanes, 1994). Los resultados aportan información de las eficiencias máximas a presiones inferiores de 500 kg/cm<sup>2</sup>, estas fueron del 72-87 %. En conclusión, el prototipo construido logra la eficiencia máxima industrial. La información encontrada podría servir para que futuras investigaciones manufacturen un prototipo a la medida de pequeños productores, asociaciones agrícolas, o bien microempresarios para que al transferir esta tecnología puedan aumentar más valor a su producto.

Palabras claves: Grasa de cacao (*Theobroma, cacao L.*), rendimiento de extracción, escala pequeña, valor agregado, agronegocio.

# DESIGN, CONSTRUCTION AND EVALUATION OF A SMALL SCALE PRESS PROTOTYPE TO EXTRACT COCOA (*Theobroma, cacao L.*) BUTTER.

Francisco Alfonso Lira Morales, MC

Colegio de Postgraduados, 2010

Cocoa butter is the most important product derived from cacao beans (Beckett, 2000). The fat is separated by a high temperature hydraulic press (Bailey, 1984). The usual pressure applied under cocoa liquor is about 500 kg/cm<sup>2</sup>. The pressing technology is manufactured for industrial capacities, though inaccessible to acquire by cocoa producers. The aim of this investigation is to build an experimental press prototype at small scale. The first specific objective is to evaluate the maximum efficiency of fat separation of this machine. The second specific objective is to evaluate the efficiency of butter extraction applying pressure under 500 kg/cm<sup>2</sup> during longer period of time. The methodology is divided in three parts. The first section is the design and construction of the prototype, which is based on mechanics of materials, fat technology and machine design. The second and last parts are the hypothesis and the design and analysis of the experiment. The experimental design used is completely randomized design with one factor. The twelve treatments were combinations of four levels of pressure (150, 250, 350 and 500 kg/cm<sup>2</sup>) and three level of pressure time (30, 45 and 60 min), they were repeated three times each. The results of maximum fat extraction were 87-92 %, they valid the maximum efficiency found in literature 85-90 %. On the other hand, the maximum efficiency found at below pressure offer new information to literature, the rate was 72-87 %. In conclusion, the prototype reaches the industrial fat extraction efficiency. The information found could also lead future studies to manufacture a press prototype to the needs of cacao producers, farmer associations and micro-entrepreneurs. In the future, when this technology would be transferred they could add more value to the cacao beans than they do today.

Key words: Cocoa butter, fat efficiency extraction, cacao productivity, added value, agro-business.

## Agradecimientos

La presente tesis formó una parte importante de la vida del autor, en la que agradece y dedica a:

A Dios por su eucaristía, amor y luz inagotable del mundo.

Al pueblo de México que al pagar sus impuestos permite que el gobierno a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Colegio de Postgraduados hayan apoyado al financiamiento de la formación de un servidor.

Al Consejo Particular por los comentarios y aportaciones.

A la Línea Prioritaria de Investigación 12 del Colegio de Postgraduados, la de agregación de valor.

A los compañeros del Colegio por su entusiasmo y amistad, en especial a Jane, Nubia y Rigo.

A María, mi esposa y mejor amiga, por su tiempo, consejos y total apoyo desde el principio cuando todo era simple idea hasta el final, gracias chaparra.

Le agradezco también el apoyo recibido de don Sergio Aguilera, sus consejos y apoyos fueron esenciales desde el comienzo, así como los del amigo Jorge Luis Sánchez Rosas, pues su inteligencia y experiencia en el maquinado de materiales dieron trascendencia a la investigación. Al Ingeniero José Mojica por su gran apoyo en los cálculos. A los productores de cacao y chocolate cuyas pláticas enriquecieron la visión del autor, en especial a doña Magally Rodríguez, doña Celsa Córdova, al Ing. Manuel Valenzuela, al Ing. Vicente Gutiérrez y don Felipe Guillén.

A los padres del autor, don Francisco Lira y doña Lénida Morales. La hermana, Susana y a Pachis, el sobrino que alegra la mañana con sus puntadas.. Así como también a doña Cuca y a Rosy, amigas de corazón.

Por último, dejo este espacio para dedicar especialmente la tesis al pequeño ser que se está formando y un día, Dios mediante será un hombre de bien, a Paquito a quien se le prepara la bienvenida al mundo con gran amor.

## Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
1.1 Objetivos .....	4
2. Revisión de Literatura .....	4
2.1 Importancia de los bienes intermedios: grasa, cocoa y pasta .....	6
2.1.1 Nivel local.....	8
2.1.2 Nivel nacional.....	10
2.1.3 Nivel internacional .....	12
2.2 Caracterización de los productos intermedios .....	14
2.2.1 Características físicas, químicas y nutricionales.....	15
2.2.2 Diagrama de flujo para la obtención de grasa y cocoa. ....	16
2.2.3 Especificaciones técnicas del proceso .....	18
2.3 Fundamentos técnicos para el diseño .....	19
2.3.1 Los componentes del prototipo.....	20
2.3.2 El tanque agitador .....	23
2.3.3 El vaso .....	24
2.3.4 La estructura .....	27
2.3.5 El sistema hidráulico .....	32
2.3.6 El filtro-prensa .....	38
3. Metodología.....	39
3.1 La prensa extractora .....	39
3.1.1 El tanque agitador .....	39
3.1.2 El vaso .....	43
3.1.2.1 Cálculo del radio .....	44
3.1.2.2 Cálculo del espesor .....	46
3.1.2.3 El drenaje de la grasa .....	48
3.1.3 La estructura .....	49
3.1.3.1 La viga .....	50
3.1.3.2 La columna .....	59
3.1.3.3 La unión soldada .....	64
3.1.4 El sistema oleohidráulico .....	66
3.1.4.1 El cilindro .....	67

3.1.4.2 Las bombas .....	69
3.1.5 El filtro-prensa .....	72
3.2 Hipótesis.....	74
3.3 Muestreo y análisis estadístico .....	74
4. Resultados .....	77
4.1 Datos técnicos de la prensa .....	77
4.2 Proceso de extracción de grasa.....	78
4.3 Prueba de hipótesis.....	79
5. Discusión.....	83
5.1 Factibilidad real de los usuarios .....	84
5.2 Consideraciones finales en la construcción de una prensa para pequeños productores.....	85
5.3 Ventajas y desventajas del prototipo .....	86
6. Conclusiones.....	88
7. Recomendaciones .....	89
8. Referencias bibliográficas.....	90
9. Anexos.....	92
9.1 Anexo A.....	92
9.2 Anexo B.....	101
9.3 Anexo C.....	102

## Lista de cuadros

Cuadro 1. Ingresos posibles de la comercialización de grasa y cocoa.-----	2
Cuadro 2. Ingresos posibles de la cosecha anual de 1 ha de cacao seco.-----	3
Cuadro 3. Alternativas de medidas para el vaso de la prensa.-----	44
Cuadro 4. Cálculos de fuerza según radio de vaso.-----	45
Cuadro 5. Cálculos para determinar el módulo de sección S.-----	56
Cuadro 6. Tabla de análisis de varianza.-----	80
Cuadro 7. Tabla de las medias de los tratamientos ordenadas de mayor a menor-	81
Cuadro 8. Tabla del análisis de comparación de medias mediante la prueba DMS-	82

## Lista de figuras

Figura 1. Diagrama del proceso para elaborar chocolate.-----	8
Figura 2. Grasa de cacao ofrecida en tienda virtual “Bonanzle”.-----	13
Figura 3. Grasa de cacao ofrecida en tienda virtual “Sunfood”.-----	14
Figura 4 Cocoa en polvo ofrecida en tienda virtual “Vitacost”.-----	14
Figura 5. Diagrama de flujo de grasa y cocoa.-----	16
Figura 6. Diagrama de flujo del diseño de máquinas.-----	20
Figura 7. Distribución cosecha de cacao seco por ha (1978).-----	21
Figura 8. Cilindro de pared gruesa.-----	24
Figura 9. Tensiones en cilindros de pared gruesa.-----	25
Figura 10. Viga empotrada en uno de sus extremos.-----	28
Figura 11. Distribución del momento en viga empotrada por un extremo.-----	28
Figura 12 (a). Pendiente $\theta$ en una viga con momentos en sus extremos. -----	30
(b). Relación lineal entre el momento flexionante y la pendiente.	
Figura 13. Cilindro de simple efecto.-----	34
Figura 14. Bomba manual.-----	36
Figura 15. Dibujo del agitador.-----	43
Figura 16. Dibujo de parte frontal del vaso.-----	48
Figura 17. Dibujo del filtro.-----	49
Figura 18. Distribución de la carga aplicada sobre la viga de la prensa.-----	50
Figura 19. Viga simplemente apoyada con una carga distribuida a lo largo-----	51
de (a).	
Figura 20. Viga con momentos flexionantes en sus extremos.-----	53
Figura 21. Dibujo del perfil de la viga.-----	55
Figura 22. Dibujo del perfil 1 de columna.-----	60
Figura 23. Dibujo del perfil 2 de la columna.-----	62
Figura 24. Dibujo de la prensa.-----	65
Figura 25. Dibujo de un sistema oleohidráulico manual.-----	67
Figura 26. Dibujo de la palanca articulada y la fuerza aplicada.-----	69
Figura 27. Dibujo del filtro-prensa.-----	73
Figura 28. Gráfica de extracción de grasa por tratamiento-----	83

## Tabla de acrónimos

AISI	Instituto Americano del Hierro y el Acero
AMSA	Agroindustrias Unidas de México, S.A.
AOAC	Asociación Oficial de Análisis Químicos
Cm	Centímetros
ED & FMAN	Eduard and Federick Man
Gr	Gramos
Ha	Hectárea
INCATABSA	Industrializadora de Cacao de Tabasco S.A.
IMCO	Intercambio Mexicano de Comercio
Kg	Kilogramos
L	Litro
MI	Mililitros
Min	Minutos
Pulg	Pulgadas
Rpm	Revoluciones por minuto
UNPC	Unión de Productores de Cacao
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
Ton	Toneladas

## 1. Introducción

El actor de la presente investigación está convencido que uno de los caminos más viables para mejorar los ingresos en el campo es aumentando el valor a la cosecha. El agricultor entre más se acerque al mercado final de su producto más tiempo podrá permanecer en el negocio (Brambilia, 2006). Considerando éste concepto como una idea central se decidió trabajar en la cadena de valor del cacao (*Theobroma, cacao* L.) de Tabasco, pues el cacao presenta ingresos significativamente diferentes para quien lo produce y para quien lo procesa.

En el estado, la mayoría de los productores comercian su producto en grano ya sea en fresco o en seco (López, 1987), el vender los granos le produce ingresos rápidos pero bajos. Otras formas de comercializar el cacao es procesado, existen alguna fábricas locales que destinan principalmente su producción hacia el mercado de las artesanías (Vázquez, 2007) o del turismo. El producto que más se ofrece es el chocolate de mesa, producto resultante de la mezcla de cacao con azúcar, canela, entre otros ingredientes (Lamoyi, 2000).

La demanda del chocolate de mesa presenta dos características que obstaculizan al productor que su proceso y venta sea de una manera constante durante todo el año. La primera, el consumidor local demanda estacionalmente el producto a finales de año cuando el clima es fresco y se acostumbra ofrecerlo en los rezos de finales de noviembre (Lamoyi, 2000). La segunda, la presencia del turismo es escaso en el estado y se ha visto afectado además por las condiciones de seguridad y riesgos epidémicos de México, punto concedido por una productora de chocolate artesanal (C. Córdova, entrevista personal, 17 Julio del 2009).

Sin embargo, el **chocolate** elaborado a base de grasa de cacao o también llamado **chocolate golosina** o **dulce de chocolate** en el presente escrito, presenta una demanda mayor al chocolate de mesa (González y Amaya, 2005). La grasa, ingrediente de mayor valor en el cacao (Lawson, 1995), es también utilizada para otros fines comerciales como son los cuidados de la piel y cosméticos. Las razones anteriores llevaron a que la investigación se haya enfocado en el proceso de extracción de la **grasa de cacao** o también llamada **manteca** o **grasa** en el presente escrito.

Separar la grasa es un proceso que en pocos lugares de Tabasco se realiza porque requiere maquinaria tipo industrial poco accesibles para los microempresarios y pequeños productores, este punto fue concedido por el gerente de mantenimiento de INCATABSA (S. Aguilera, entrevista personal, 19 de marzo del 2008).

La comercialización de la grasa y la cocoa puede ofrecer al pequeño productor los beneficios económicos presentados en el *Cuadro 1*. En el ejemplo, los subproductos de cacao suman 400 kg después de haber sido tostados, descascarillados y prensados; los precios son una referencia al valor que paga el consumidor local y en el mercado virtual de Internet.

*Cuadro 1. Ingresos posibles de la comercialización de grasa y cocoa.*

Producto	Cantidad (kg)	Precio (\$/kg)	Ingresos (\$)
Grasa	160	200	32,000
Cocoa	240	50	12,000
Suma	400	110 ( promedio)	44,000

Fuente: adaptado de Minifie, 1970

Los beneficios presentados en el *Cuadro 1* se pueden comparar con los ingresos anuales que obtiene el productor vendiendo sus semillas. Existen dos formas de vender los granos: en fresco y en seco. En el primer caso el cacao se comercializa tan luego se extrae de la mazorca con la finalidad de evitar pérdidas de humedad que le lleva a disminuir peso. En el segundo caso el cacao pasa por un proceso de lavado, fermentado y secado que dura algunos días para obtener un cacao con menos del 6% de humedad (López, 1987).

El *Cuadro 2* presenta la comparación de los ingresos posibles entre vender las semillas y el de agregarles más valor.

*Cuadro 2. Ingresos posibles de la cosecha anual de 1 ha de cacao seco.*

Alternativa	Cantidad kg	Precio \$/kg	Ingreso \$
Cacao verde	1,250	13	16,250
Cacao seco	500	45	22,500
Grasa y cocoa	400	110 (precio promedio)	44,000

En el *Cuadro 2* se observa que a mayor agregación de valor al cacao mayor es su ingreso. Sin embargo, la comercialización del grano verde es la forma de venta más común entre los productores. La otra manera de vender el grano consiste en enviar el cacao fresco a las fermentadoras propiedad de la UNPC (Unión Nacional de Productores de Cacao) que se ubican en diversas asociaciones en los municipios cacaoteros (López, 1987). Las asociaciones lo fermentan, secan y lo comercializan a través de la UNPC, el productor recibe el pago del grano verde y espera el remanente, es decir el ingreso por agregarle valor. En la actualidad existen asociaciones independientes a la UNPC y también participan empresas privadas (González y Amaya, 2005).

La comercialización de la grasa y la cocoa parece económicamente atractivo pues un mercado los demanda constantemente. Sin embargo, la investigación supone la existencia de ese mercado y proyectos futuros se encargarán de investigarlos y conectarlos con los productores.

## 1.1 Objetivos

La investigación, debido a la importancia de la grasa de cacao y a la falta de tecnología para separar grasa a escala del productor en el mercado, se concentra en el proceso del prensado. El objetivo general es diseñar y construir un **prototipo**, también llamado **prensa** o **máquina** en el presente escrito, a pequeña escala que cumpla con los requisitos que señala la literatura para separar la grasa del cacao.

Los objetivos específicos son:

El primer objetivo específico de la investigación es evaluar el rendimiento máximo de extracción de grasa que se puede obtener con el prototipo construido.

El segundo objetivo específico de la investigación es evaluar los rendimientos de extracción utilizando diferentes niveles de presión y tiempo de drenado.

Los resultados de los experimentos podrían aportar el conocimiento necesario para que en un futuro se puedan construir equipos sencillos y accesibles.

## 2. Revisión de Literatura

El cacao fue descubierto en México y Centroamérica (Belitz, Grosh, Schieberie, 2004) y a lo largo de la historia, ha participado en múltiples escenarios del hombre como: la medicina, la gastronomía, la religión, la economía, el comercio (Chapa, 2003) y últimamente en la salud. El consumo del cacao ha cambiado desde las épocas precolombinas hasta nuestros días ya que la ciencia ha encontrado diversas aplicaciones a los subproductos del cacao y se ha desarrollado tecnología para su proceso. Primero en América antes de la conquista, se preparaba una bebida con los granos de cacao tostados juntos con el maíz y mezclados con canela, vainilla o paprika. Después, el cacao llegó a Europa en la primera mitad del siglo XVII, donde tuvo una mejor aceptación hasta que se le agregó azúcar y era considerado un artículo de lujo. Después en el siglo XIX se inventó una prensa para separar la grasa del cacao, a partir de ahí el consumo de la cocoa como una bebida se hizo popular (Belitz, Grosh, Schieberie, 2004). Al poco tiempo, algunos empresarios exitosos de la Revolución Industrial inglesa como Joseph Fry & Sons y John Cadbury

elaboraron chocolate tipo golosina y crearon una gran industrial del chocolate. La invención del verdadero chocolate con leche fue obra de dos hombres, Henry Nestlé y Daniel Peter, ambos suizos. El primero era un químico que descubrió un proceso en 1867 para hacer leche en polvo por evaporación y el segundo era un fabricante de chocolate que usó la leche en polvo de Nestlé para fabricar una clase de chocolate. (Coe y Coe, 1999; González y Amaya, 2005). Los confiteros encontraron la aplicación a la grasa lo que aumentaría el consumo y la producción del cacao no sólo en América sino a nivel mundial ya que las potencias europeas llevaron árboles a sus colonias como España lo hizo en Biyogo, Francia en Costa de Marfil (Beckett, 2000).

La cadena de valor del cacao se divide en bienes primarios, intermedios y finales. Los bienes primarios la conforman los granos de cacao verde o beneficiados (secos y/o fermentados) que realizan los cacaocultores. Los bienes intermedios o semielaborados se dividen en agroindustriales e industrializados. Los agroindustriales son: polvillo, cascarilla, cáscara, mucílagos, jugos, granillo y licor. Los productos intermedios industrializados son: pasta, manteca y cocoa. Los bienes finales o productos elaborados se dividen en industria de alimentos e industrializados. Los productos de la industria de alimentos son: polvillos, alimentos pecuarios, pigmentos pecuarios, jabones, pectinas, abonos orgánicos, bebidas, mermeladas, cosméticos y los productos industrializados son: chocolates y confituras de diversas presentaciones (Martínez, 2007).

En el mundo, la producción y el procesamiento del cacao es desigual. La materia prima se produce en países pobres donde sus granos cosechados en minifundios son pagados a precios bajos que difícilmente puede la familia sobrevivir de ellos. En cambio, el procesamiento y la comercialización de los bienes intermedios y finales se realizan en países ricos, con excepción de algunos productores como Costa de Marfil y Brasil, donde el comercio internacional está provocando que la desigualdad aumente (Martínez, 2007). Los principales países exportadores de grasa, cocoa, pasta y chocolate están en Europa y Norte América (González y Amaya, 2005).

México participa muy poco de la producción mundial, en el año 2003 contribuyó con el 2.45 %. En el país, Tabasco y Chiapas son los principales productores (González y Amaya, 2005). Los cacaocultores de Tabasco son 30,000 organizados en 30

Asociaciones Agrícolas Locales, tres Uniones Regionales y una Unión Nacional de Productores de Cacao (Martínez, 2007). Los productores reciben en promedio \$19,300 al año (González y Amaya, 2005) que representa un ingreso escaso para las familias.

La baja productividad del cacao presenta efectos negativos como la antipatía de los jóvenes por continuar la producción del cacao y en su vez migran a las ciudades, la edad avanzada de los productores, así como también se agrega la escasa inversión pública en las áreas rurales (Vázquez, 2007; González y Amaya, 2005; Ramírez, 2007). En la investigación de Vázquez (2007) sobre la productividad del cacao en Tabasco se encontraron las siguientes estrategias alrededor de la cadena de suministro del cacao para mejorar la competitividad de los productores:

Primero, diferenciar la calidad del grano con certificaciones que pueden ser de la calidad de los granos, del cuidado al medio ambiente o de un comercio justo. Segundo, agregar valor a los granos a pesar de los obstáculos que presenta. Tercero, incrementar el consumo interno de los productos derivados del cacao en los países productores. Cuarto, incrementar el rendimiento de cosecha por hectárea (Vázquez, 2007).

La presente investigación se concentra en la segunda estrategia planteada, la agregación de valor por parte de los productores.

## **2.1 Importancia de los bienes intermedios: grasa, cocoa y pasta**

El químico holandés Coenraad Johannes Van Houten inventó por vez primera una prensa para desgrasar el cacao en el año 1828. En esos tiempos el cacao como bebida era muy espesa pues la grasa contenida en el cacao dificultaba su disolución en el agua. Por tanto, con la prensa se buscaba desgrasar el cacao para hacer una bebida más ligera. El cacao como bebida es diferente al café o el té pues es una suspensión y no un extracto líquido (Belitz, Grosh, Schieberie, 2004).

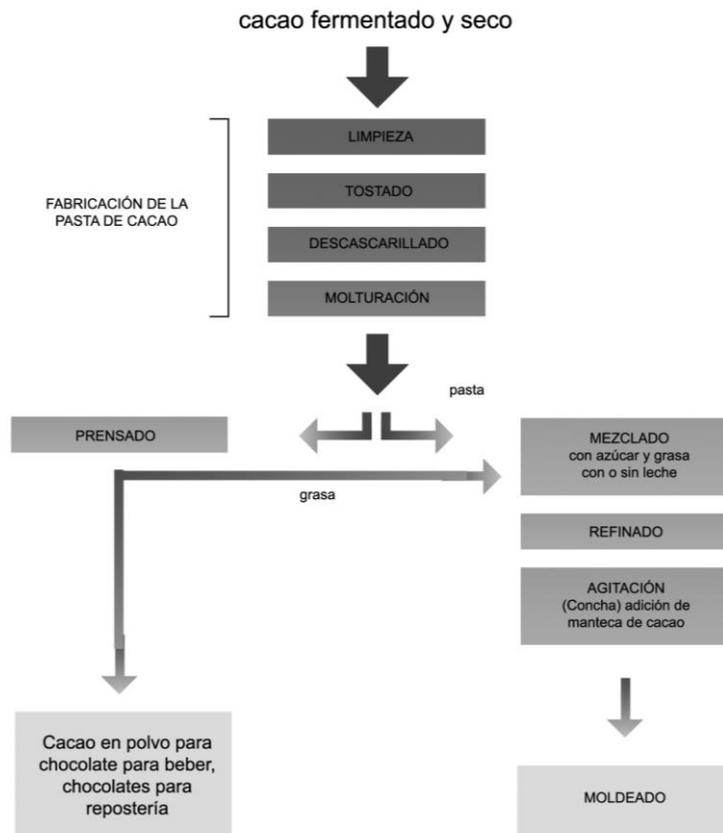
Los subproductos resultantes del prensado son dos: la cocoa y la grasa. La cocoa tiene normalmente un contenido de grasa del 20 al 22 %. Este subproducto del cacao se obtiene después de separar la grasa en el prensado. Al final de la

separación la cocoa es como una piedra, por lo que es necesario romper y pulverizar. El cacao en polvo se divide de acuerdo al contenido de grasa en: cocoa ligeramente desgrasada cuando contiene del 20 al 22 % de grasa y cocoa de intenso desgrasado cuando contiene más del 10 y menos del 20 % de grasa. Al cacao en polvo sin grasa no se le puede denominar legalmente cocoa. En la industria, la cocoa es usada para elaborar muchos productos como: rellenos de pastel, polvos de pudines, bebidas de sabor a chocolate, helados (Belitz, Grosh, Schieberie, 2004). También se mezcla con otras grasas y se obtiene coberturas de chocolate aromatizadas. Las bebidas con sabor a chocolate que se fabrican se obtiene de la mezcla de cocoa, azúcar y lecitina. La lecitina ayuda a que las partículas se disuelvan en el medio acuoso sin formar grumos (Beckett, 2000).

La grasa del cacao por su naturaleza es una grasa aromática que tiene una característica muy especial, a temperatura ambiente se encuentra sólida pero a la temperatura de 28 a 36 °C se derrite. Posterior al invento de la prensa se encontró la aplicación principal para la grasa que fue la elaboración del chocolate para comer. Antes del descubrimiento, la pasta mezclada con azúcar resultaba un producto duro y desmenuzable. El descubrimiento consistió que la grasa extra adicionada permitía que las partículas sólidas se envolvieran de grasa haciendo una barra uniforme que se funde en la boca dejando una sensación placentera (Beckett, 2000; Belitz, Grosh, Schieberie, 2004).

La **pasta** o **licor de cacao** se le dice a los granos finamente triturados. Estos granos fueron previamente fermentados, secados, tostados y descascarillados. El licor presenta una temperatura de fusión de 35 °C, el contenido de grasa oscila entre 50-55 % de su peso y se utiliza normalmente como ingrediente para elaborar chocolate golosina o polvos de cocoa (Beckett, 2000; Belitz, Grosh, Schieberie, 2004).

En la *Figura 1* se presenta un diagrama del proceso para elaborar chocolate donde se utiliza la grasa y el licor de cacao como ingredientes. Ahí se observa además la obtención de la cocoa. La molturación es el proceso donde se tritura el cacao en partículas pequeñas y se separa la mayor cantidad de grasa posible que fue liberada del interior de las células del cotiledón (Beckett, 2000).



Fuente: Beckett, 2000.

Figura 1. Diagrama del proceso para elaborar chocolate.

La grasa es un ingrediente en diferentes tipos de chocolates como: chocolate dulce crema, chocolate con leche, cobertura y chocolates amargos, aunque cada uno con diferente proporción. La manteca de cacao, además de ser un ingrediente para la golosina, es también utilizada para: disminuir la resequedad, prevenir y tratar las marcas en embarazadas; por su aroma y sabor es usado para elaborar: lociones, esencias, jabones, cosméticos, aceites para bronceado, aromaterapias (Lawson, 1995); por su temperatura de fusión se absorbe en la piel y es recomendada para tratamientos contra la dermatitis y la inflamación.

### 2.1.1 Nivel local

Tabasco es el principal productor de cacao en México. La superficie cultivada es 40, 578 Ha (González y Amaya, 2005) generando una producción anual de 15,933 ton en 2009/10 que representa el 65 % de la producción nacional (SIAP, 2010). Los

productores comercializan principalmente los granos en verde a los diferentes centros de acopio donde son beneficiados o fermentados. Estos centros de acopio pueden ser asociaciones afiliadas a la UNPC, empresas privadas (como: La Serrana, IMCO, ED & FMAN, AMSA) o independientes (COFUPRO y SAGARPA, 2003).

En Tabasco son pocas las empresas transformadoras (grano seco), de hecho se comercializa más del 90% en grano seco. Las fábricas de chocolate medianas y pequeñas en Tabasco enfocan su mercado hacia el turismo en expendios de artesanías (Vázquez, 2007). En un estudio de mercado realizado en el 2009 se encontraron en distintos expendios de artesanías de Cárdenas, Centro y Comalcalco 18 marcas locales que procesan principalmente chocolate de mesa, algunas de ellas son: Tikal de INCATABSA, Tía Tana, Chokolak, Buergo, Delicia de Tabasco del grupo "Ser Mujer", Tabasco de CIA Chocolatera Tabasco, Chocolate Maya, El Chontal de Finca Cholula, Real de Palenque de CACEP, Wolter, La Joya de Clara Echeverría, La Pasadita, La Negrita, Chocolate Riveroll, La Patrona, El Choco, Chocolate Sebastián Torres Oliva, entre otros.

Las empresas que elaboran chocolate golosina son: INCATABSA, Cacep, Wolter y Brondo, las cuales ofertan sus productos afuera de sus fábricas, a través de mayoristas. Cacep está aumentando sus puntos de venta en Centro y Comalcalco. Las fábricas que cuentan con prensas también elaboran polvos con la cocoa para que el consumidor haga bebidas. En Tabasco, existen fábricas cuyo objetivo es elaborar estos polvos y la grasa la comercializan como la empresa de marca GUIFAL, punto concedido por el propietario (F. Guillén, entrevista telefónica, 15 de abril del 2010).

En Cárdenas se ubica INCATABSA, la fábrica de chocolates de los productores de cacao UNPC y más grande del estado. Tiene una capacidad instalada para procesar 15,000 toneladas de cacao al año (22.3 % capacidad nacional). Sin embargo, ahora procesa cantidades mínimas a pesar que hace tiempo exportaba exitosamente manteca (COFUPRO y SAGARPA, 2003).

La producción de materia prima se ha visto afectada seriamente por el hongo monilia. Esta enfermedad ha ocasionado que los productores abandonen o vendan sus tierras o cambien sus cultivos. El control del hongo a diferencia de otras

enfermedades no es con productos químicos sino de un control de aspecto cultural (Olán, 2009). Este control requiere mayores esfuerzos por los productores que por su edad avanzada les resulta difícil de emprender. La situación del estado no es nada alentadora, sin embargo aquellos productores que permanezcan, mejoren su cultivos, aprovechen oportunidades como diferenciar sus granos con certificaciones, siembren árboles maderables, entre otras medidas tendrán mejores beneficios en el futuro (Ramírez, 2007).

### **2.1.2 Nivel nacional**

México es un importador de granos, subproductos y productos finales de cacao. El tratado comercial con Estados Unidos y Canadá (TLCAN) ha favorecido la importación de bienes finales ya que a partir del 2001 no se cobra arancel. Sin embargo se ha castigado la producción nacional con aranceles de importación a los granos con un 5 % y la cocoa sin azúcar con un 20 %. En los años 90's el país exportó 15,500 ton de granos y derivados equivalentes a 26.3 millones de dólares. Así mismo, en esa época México importó 31,000 ton de granos y derivados equivalentes a 62 millones de dólares (González y Amaya, 2005). El año 2009, México exportó el valor en dólares de: 1.3 millones de manteca, 16.6 millones de chocolate y preparados y 3 mil en granos de cacao. En ese año se importaron 21.1 millones de chocolates y preparados y 2.4 millones de cocoa sin azúcar (SIAP, 2010).

En la producción del grano mundial, el país participó en el año 2003 solo con 2.45 % ubicándose en 11<sup>o</sup> lugar; en América es superado por Brasil, Ecuador y República Dominicana (González y Amaya, 2005).

A pesar que México participa poco del volumen mundial de producción de granos, el mercado nacional está en crecimiento. El consumo per-cápita del cacao se ha ido incrementado en los últimos años. El mexicano consumía a mediados de los ochentas cerca de 300 gr de cacao y en el 2003 consumió cerca de 600 gr. Sin embargo, se piensa que el consumo seguirá elevándose pues se encuentra todavía debajo de la media mundial de 950 gr. El mayor consumo individual medidos en

kilogramos se encuentra en los países de Europa: Suiza con 12, Irlanda y Alemania con 8, Francia con 5 (González y Amaya, 2005).

El consumo nacional de cacao se encuentra dividido en dulce de chocolate, chocolate para beber y productos tradicionales. El chocolate golosina y coberturas dominan el consumo con el 56% del mercado nacional, el chocolate de mesa y polvos para bebidas participan con el 31%, mientras los productos tradicionales con arraigo cultural como el pozol, tascalate, polvillo participan con el 13% (González y Amaya, 2005).

La industria nacional de productores de chocolates, dulces y derivados la forman 213 empresas con un valor anual de producción de 3 mil millones de pesos. Sin embargo, el 59% de la producción se concentra en las compañías: Nestlé, Pepsico, Ricolino y La Corona. Otras empresas importantes son: Bimbo, Bristol Mayer, Unilever, Chocolate Jalisco, INCATABSA (aunque actualmente registra una operación mínima tiene una capacidad comparada con Nestlé), Turín, Sanborn's, Mayordomo, Guelaguetza Soledad (COFUPRO y SAGARPA, 2003).

El mercado donde se distribuyen los diversos productos elaborados a partir del chocolate se encuentran en hipermercados (38 %), pequeñas tiendas y tabaquerías (33 %), farmacias (11 %), supermercados (10 %) y tiendas tradicionales (8 %). Se tiene como dato de importación que el 26% del consumo de los chocolates golosinas provienen de Estados Unidos (COFUPRO y SAGARPA, 2003).

La capacidad instalada nacional para procesar cacao es de 67,231 ton al año. Las principales empresas son: INCATABSA, NESTLE, AMSA los cuales concentran el 61% de la capacidad total (COFUPRO y SAGARPA, 2003).

La importancia de los productos intermedios en México se observa en la gran variedad de productos que la contienen. La grasa de cacao es indispensable en múltiples tipos de chocolate golosina confeccionados en el país o importados, además se usa en productos que se ofrecen para combatir la resequedad en labios y cuidar la piel. La cocoa es un ingrediente importante para dar el sabor a chocolate a lácteos, helados, cereales, pasteles, galletas y chocolates de precios bajos. La pasta es ingrediente para elaborar chocolate y materia prima para fabricar cocoa (Beckett, 2000; Belitz, Grosh, Schieberie, 2004; Minifie, 1970).

### 2.1.3 Nivel internacional

En el mundo se observa que los países productores de cacao difícilmente procesan sus granos. Con algunas excepciones, los países europeos y norteamericanos principalmente son quienes a través de exportaciones o por medio de transnacionales se encargan de procesar y distribuir la gran variedad de chocolates que se consumen.

Los principales productores y exportadores de cacao en el mundo son: Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria y Camerún. Estos países juntos tienen el 80% de la producción. En el mundo, 2/3 de la producción se comercia en mercados internacionales, de los cuales 2/3 de los granos son procesados en productos intermedios por las empresas: Cargill, Archer Daniela, Midland, Bloomers Chocolate Company y World Finest Chocolate. El otro 1/3 de los granos son procesados en productos finales de chocolate y cocoa en el mundo por las empresas: Nestlé, Mars y Hershey's Food (González y Amaya, 2005).

Holanda es reconocida por descubrir el prensado y la alcalización, en la actualidad este país es conocido por ser un centro internacional de molienda e inclusive reexporta granos. La molienda es indicador del proceso del grano. En el año 2000, la molienda se concentró en los países cuyas proporciones en porcentaje (%) respecto al total son; Estados Unidos 14.8, Holanda 14.7, Costa de Marfil 7.9, Alemania 7.2, Brasil 6.8, Reino Unido 5.7 (González y Amaya, 2005).

En ese mismo año 2000, la exportación total de manteca fue de 2,849 ton de los cuales los países que más exportaron con su proporción en porcentaje (%) respecto al total fueron: Holanda 38.7, Costa de Marfil 10.7, Francia 10.7, Indonesia 8.9, Brasil 6.5. Así mismo, los países más exportadores de pasta en el año 2000 fueron: Costa de Marfil 26.6, Holanda 18.6, Alemania 6.6, Francia 5.5, Camerún 5.5, Estados Unidos 4.9, Malasia 2.4, Ecuador 2.1 (González y Amaya, 2005).

En el proceso mundial de bienes intermedios se observa que algunos productores de granos, principalmente Costa de Marfil y Brasil, están participando de la molienda, prensado y refinado de pasta (González y Amaya, 2005).

Sin embargo, en la lista de los principales países exportadores de chocolate y bienes finales no participan países productores. En el año 2000, el 66 % del valor de las

exportaciones del mundo (de un total de 40 naciones) se concentró en los siguientes países cuyas proporciones en porcentaje (%) son: Alemania 15, Bélgica 13.3, Holanda 8.9, Francia 7.7, Estados Unidos 6.9, Reino Unido 6.8 y Canadá 6.6 (González y Amaya, 2005).

Las listas presentadas muestran que los bienes finales del cacao, los de mayor valor agregado, se concentra en Europa y Norte América. En los bienes intermedios se observa en su mayoría la misma regionalización de los bienes finales, sin embargo algunos países productores presentan una participación importante como: Costa de Marfil, Brasil, Indonesia, Malasia y Camerún.

Con la finalidad de mostrar ejemplos de la comercialización de la grasa y la cocoa en el mercado virtual de Internet se muestran las *Figuras 2, 3 y 4* que son fotografías de los productos con sus precios convertidos a pesos mexicanos al momento de la investigación.



*Figura 2. Grasa de cacao ofrecida en tienda virtual "Bonanzle".  
Precio al público de 298 \$/kg.*

*Consultado en Internet el 10 de septiembre del 2009 en :  
[http://www.bonanzle.com/booths/naturallymimis/items/1lb\\_Raw\\_Cocoa\\_Butter](http://www.bonanzle.com/booths/naturallymimis/items/1lb_Raw_Cocoa_Butter)*



Figura 3. Grasa de cacao ofrecida en tienda virtual "Sunfood".  
Precio al público de 1,188 \$/kg.

Consultado en Internet el día 10 de septiembre del 2009 en:  
<http://sunfood.com/buy/1/5/523/Cacao-Butter--14-oz--in-Glass-Jar--Sunfood-Nutrition--raw--certified-organic-/1235.aspx>



Figura 4. Cocola en polvo ofrecida en tienda virtual "Vitacost".  
Precio al público de 384 \$/kg.

Consultado en Internet el día 10 de septiembre del 2009, en :  
<http://www.vitacost.com/Nativas-Naturals-Organic-Cacao-Power?csrc=GPF-858847000840>

## 2.2 Caracterización de los productos intermedios

Los productos intermedios presentan características importantes para sus aplicaciones. En esta sección se distinguirán algunas propiedades de ellas, así como también el diagrama de flujo para obtenerlas y algunas especificaciones técnicas en su proceso.

### **2.2.1 Características físicas, químicas y nutricionales**

Las características más relevantes de los productos intermedios (grasa, cocoa y pasta) son:

La grasa es de color amarillo claro, es dura y frágil, se cristaliza de varias formas, su temperatura de fusión es entre 30 y 40 °C, su aroma es placentero, cuando se derrite en la boca brinda una sensación fresca y agradable. La manteca es una mezcla de triglicéridos, ya que existen tres tipos de ácidos grasos principales que juntos forman cerca del 95 % de los ácidos grasos presentes. Estos ácidos grasos dominantes con su proporción (%) son: ácido oleico cerca del 35, ácido esteárico cerca del 34 y el ácido palmítico alrededor del 26. La grasa tiene pocos componentes, es simple, razón por la que se funde rápidamente entre un rango de temperatura estrecho, es decir entre la temperatura ambiente y la de la boca (Beckett, 2000). La composición de ácidos permite que la grasa sea resistente a la autooxidación y deterioro microbiológico (Belitz, Grosh, Schieberie, 2004).

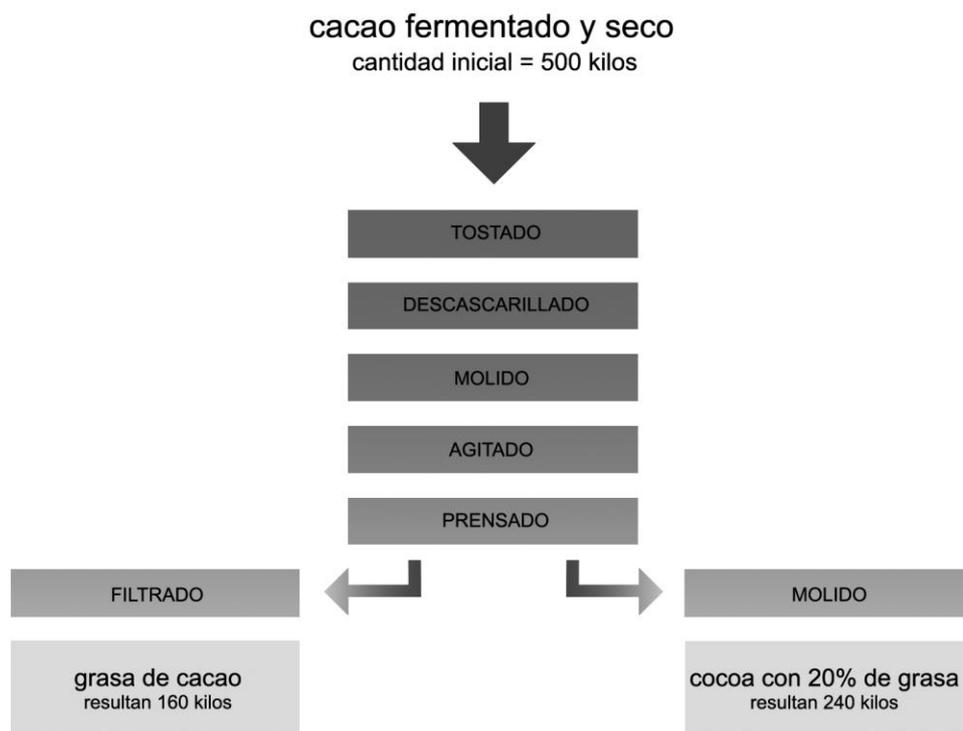
La cocoa cuando es ligeramente desgrasada se observa de color más oscuro y de sabor más ligero que la cocoa más desgrasada. La cocoa después de haber sido prensada es muy dura y para pulverizarla se requiere desintegrarla. La dispersabilidad y humedad de la cocoa aumenta cuando el licor de cacao es alcalinizado mediante soluciones de óxido de magnesio y las almendras de cacao son tratadas con una solución alcalina al 2 – 2.5 % a 75 – 100 °C. Este proceso fue usado por primera vez por C.I. Van Houten en 1828 (Belitz, Grosh, Schieberie, 2004).

La pasta es de color café oscuro, su punto de fusión es de 35 °C, es sólido a temperatura ambiente, tiene una concentración de grasa de 50-55 % respecto a su peso. El licor se tritura en partículas pequeñas para romper sus paredes celulares y se pueda remover fácilmente la grasa, este proceso se le llama molturación (Beckett, 2000).

Las características nutricionales más relevantes de los granos fermentados, tostados y descascarillados, o también llamadas almendras de cacao, con su porcentaje (%) son: humedad 5.0, grasa 54, cafeína 0.2, Theobromina 1.2, Proteína 11.5, Carbohidratos 6.0, Celulosa 9.0, Ceniza 2.6 (Belitz, Grosh, Schieberie, 2004).

## 2.2.2 Diagrama de flujo para la obtención de grasa y cocoa.

La *Figura 5* muestra el diagrama en donde se presentan los pasos para la producción de grasa y cocoa a partir de semillas de cacao secas y fermentadas. En los procesos tostado, descascarillado y molido se forma el licor de cacao. Las cantidades del cacao inicial y los productos resultantes son los mismos al del *Cuadro 1*. La presente investigación se enfoca en diseñar y construir un prototipo para los pasos agitado, prensado y filtrado.



Fuente: Belitz, Grosh, Schieberle, 2004

*Figura 5.* Diagrama de flujo de grasa y cocoa.

La suma de los subproductos disminuyen en 20 % del peso inicial del cacao seco ya que los granos pierden del 5 al 8 % de humedad al tostarlos y del 10 al 12 % al removerles la corteza (Belitz, Grosh, Schieberle, 2004). La manteca extraída depende del contenido natural de grasa de las almendras y de la eficiencia del prensado. En el ejemplo se consideró un contenido del 50 % y una eficiencia de separación del 80 %.

A continuación se da una breve explicación de los datos presentados en la *Figura 5*.

El cacao seco y fermentado merma alrededor del 20 % de su peso cuando es tostado y descascarillado, entonces el peso neto del cacao después de esos procesos es:

$$\text{Peso de las almendras} = \text{Cacao seco} \times 80/100$$

$$\text{Peso de las almendras} = 500 \text{ kg} \times 80/100$$

$$\text{Peso de las almendras} = 400 \text{ kg}$$

Se estimó el contenido total de grasa del 50 % respecto al peso de las almendras, por lo que la grasa total en 400 kg de cacao es:

$$\text{Peso de grasa total} = \text{Peso de las almendras} \times 50/100$$

$$\text{Peso de grasa total} = 400 \text{ kg} \times 50/100$$

$$\text{Peso de grasa total} = 200 \text{ kg}$$

En la Industria, la eficiencia de extracción o rendimiento de grasa después del prensado es entre el 85 y 90 % (Yanes, 1994). En el ejemplo se está considerando una eficiencia del 80 %, por lo que la grasa esperada es:

$$\text{Grasa extraída} = \% \text{ Eficiencia} \times \text{Grasa total}$$

$$\text{Grasa extraída} = 80/100 \times 200 \text{ kg}$$

$$\text{Grasa extraída} = 160 \text{ kg}$$

La cocoa es el residuo sólido del prensado, por tanto el peso de esta es la diferencia entre el peso del licor menos la manteca separada.

$$\text{Peso de la cocoa} = \text{Peso del licor de cacao} - \text{Manteca separada}$$

$$\text{Peso de la cocoa} = 400 \text{ kg} - 160 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la cocoa} = 240 \text{ kg}$$

### **2.2.3 Especificaciones técnicas del proceso**

La calidad de la grasa y cocoa depende de sus procesos. Es importante iniciar con granos que hayan sido propiamente fermentados pues al final este proceso tiene efectos en el aroma y la permeabilidad de las paredes del grano. A continuación se mencionan algunas especificaciones técnicas para los procesos: secado, tostado, descascarillado, molido, agitado, prensado y filtrado.

El secado se realiza a temperaturas entre 65-80 °C con la finalidad de disminuir la presencia de humedad por debajo del 8 %. En esta parte terminan las reacciones de oxidación (Santos, 1973; Belitz, Grosh, Schieberie, 2004).

El tostado se realiza a temperaturas entre 140-150 °C con la finalidad de reducir la astringencia, la carga microbiana y el ácido acético. En esta parte se desarrolla la reacción de Maillard que favorece la formación de pigmentos que contienen aroma y sabor. La merma en el tostado es del 5-8% del peso inicial (Santos, 1973).

El descascarillado se realiza con la finalidad de obtener las almendras de cacao cuyo contenido de grasa es entre 50-54 %. La merma en este proceso es alrededor del 10-12 % (Santos, 1973; Beckett, 2000).

El molido es el proceso donde las almendras se desintegran en pequeñas partículas con la finalidad de romper las paredes celulares facilitando la salida de la grasa. El resultado es un licor de cacao con granulometría homogénea, ausente de partículas gruesas y de gérmenes (Belitz, Grosh, Schieberie, 2004).

El agitado es un tratamiento térmico que eleva homogéneamente la temperatura del licor de cacao entre 90-100 °C con la finalidad de distribuir la grasa, reducir las bacterias, hongos, levaduras y acentuar el sabor, olor, color y aroma. En este proceso el contenido de humedad se reduce por debajo del 1 % (Yanes, 1994).

El prensado es el proceso que separa la manteca y se obtiene el residuo sólido llamado cocoa. El licor de cacao se prensa a 500 kg/cm<sup>2</sup> y se filtra la grasa a través de una malla metálica mesh 220 (Yanes, 1994). El tipo de prensa empleada en la industria del cacao por su alto requerimiento de presión y temperatura es hidráulica y de vaso (Bailey, 1984). La temperatura del vaso es entre 90-100 °C con la finalidad de mantener caliente la pasta de cacao agitado.

El filtrado es el proceso para eliminar residuos sólidos en la grasa resultante del prensado. La presión requerida en el filtro-prensa es de  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  y la temperatura de  $75^\circ \text{C}$ . Los sólidos son retenidos en un papel de celulosa (Yanes, 1994).

### **2.3 Fundamentos técnicos para el diseño**

Los fundamentos técnicos que soportan la investigación son dos. El primero se encuentra en la literatura de la química de los alimentos, donde se sostiene que para convertir la pasta de cacao en cocoa, la grasa tiene que prensarse y filtrarse a  $500 \text{ kg/cm}^2$  (Yanes, 1994). El segundo argumento aparece en la tecnología de las grasas donde se sostiene que el rendimiento de grasa extraída depende de varios factores como: la velocidad con que se le aplica la presión, la presión máxima, el tiempo de drenaje y la temperatura de la grasa. En la práctica, el tiempo de drenaje está limitado por la necesidad de mantener un ritmo razonable de producción (Bailey, 1984).

Debido a que la presión es la fuerza perpendicular a una unidad de área (Van Vlack, 1973), el primer argumento determina que a menor área también menor es la fuerza necesaria para ejercer una presión deseada. Este argumento supone que un equipo para desgrasar el cacao a una escala pequeña puede obtener rendimientos similares a los equipos industriales si logramos cumplir con los requerimientos de presión y temperaturas.

Ahora bien, se considera que el tiempo es un factor de mayor importancia para el empresario industrial que para los pequeños cacaocultores. El fabril reduce sus costos al aumentar la producción usando el mismo tiempo empleado por la mano de obra directa, mientras el microempresario únicamente procesaría el cacao que cosecha en su terreno.

Esa aparente ventaja del pequeño productor se acompaña bien del argumento de Bailey (1994, p. 422)

Se han intentado establecer relaciones entre el aceite obtenido, a partir de distintas semillas, y los factores de presión, tiempo de prensado y temperatura. Se han encontrado que, con los factores constantes, la fracción del aceite total remanente en las semillas

trituras, acondicionadas y prensadas hidráulicamente, al cabo de T minutos de prensado (a presión máxima) puede expresarse, aproximadamente una ecuación de la forma:

$F = k/T^n$ , donde :      k = constante

n = unidad entre 0.1 y 0.18, siendo 0.15 la media.

T = minutos de prensado ( a presión máxima )

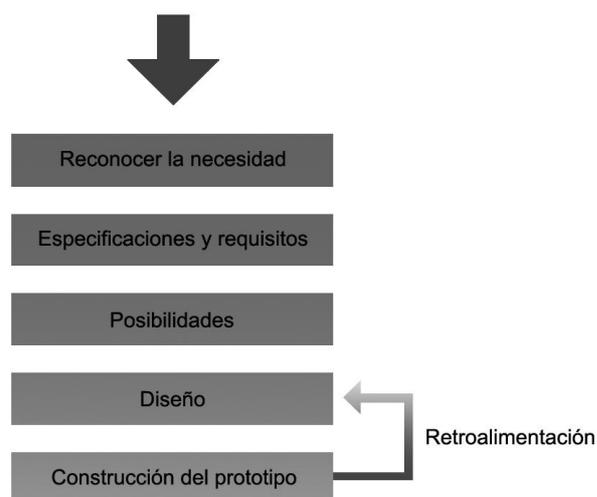
F = fracción de grasa total residual

De la ecuación anterior se puede deducir que existe una relación lineal entre el logaritmo del tiempo de drenaje, bajo presión, y el logaritmo de la cantidad de aceite residual en la torta

Es decir, se puede esperar que a mayor tiempo de drenaje, bajo presión, menor puede ser la grasa residual en la torta y por consiguiente mayor grasa extraída. Este argumento invita a suponer que se puede reducir la presión ejercida y compensarla con un mayor tiempo de drenaje.

### 2.3.1 Los componentes del prototipo

El diseño del prototipo está basado en los pasos que sugiere la literatura del diseño de máquinas. En la *Figura 6* se mencionan el diagrama de flujo del diseño de máquinas.



Fuente: Deutschman, 1999, "Diseño de máquinas, Teoría y práctica".

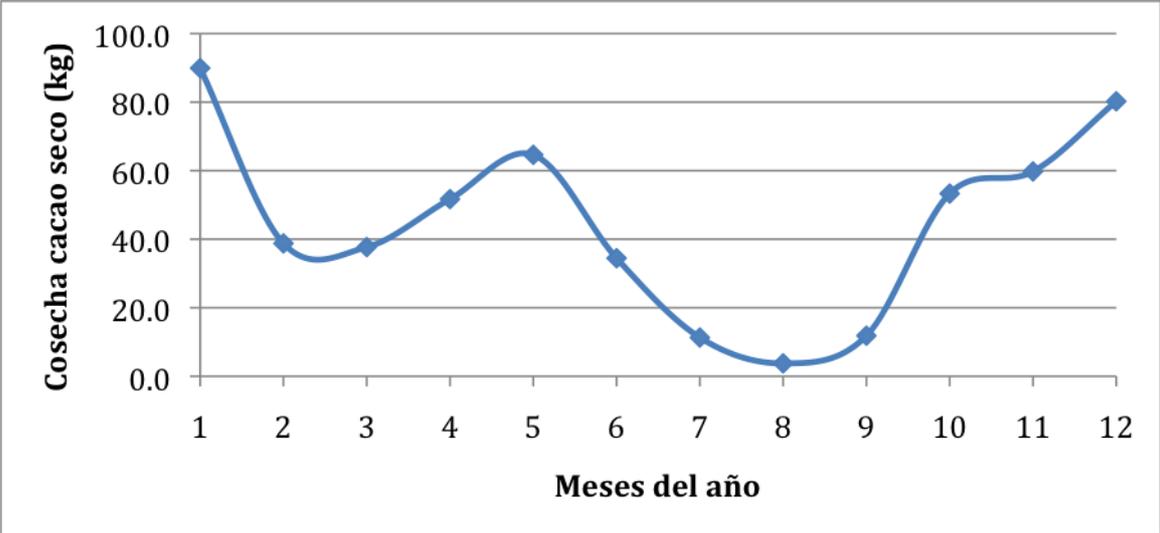
*Figura 6. Diagrama de flujo del diseño de máquinas.*

Siguiendo los pasos de la *Figura 6*, se inicia con la identificación de la necesidad: construir un equipo para desgrasar la cosecha anual de una hectárea de cacao seco.

La necesidad es transformar la cosecha anual de una hectárea de cacao seco en grasa y cocoa. La oportunidad que se presenta es interpretar dicha necesidad en dimensiones posibles para el vaso y otros componentes del equipo que se construirá.

En la literatura del cacao en Tabasco se presenta la producción de cacao seco por una hectárea y su distribución a lo largo del año. Es importante mencionar que recientemente muchos cacaotales se han infectado de un hongo llamado “monilia”, mermando significativamente los promedios de cosecha y niveles encontrados en la bibliografía. A pesar de ello se decidió considerar las cifras que se reportaron hace tiempo cuando el rendimiento por hectárea era mayor a la actual.

En la *Figura 7* siguiente se observa la distribución de los 538 kilos de cacao seco, cosecha anual de una hectárea.



Fuente: adaptado de UNPC Boletín 1, 1978; SARH, 1978

*Figura 7. Distribución cosecha de cacao seco por ha (1978).*

La cosecha máxima de cacao seco a lo largo de un mes equivale a 90 kilos, éste dato se consideró como un apoyo para dimensionar el equipo.

La necesidad anterior se estimó como sigue: construir un equipo para desgrasar al menos 4 kilos de cacao seco al día.

En continuación con las etapas del diseño, se debe encontrar las especificaciones y requisitos de la separación de la grasa de cacao.

En la literatura de la tecnología de las grasas se menciona que los objetivos al separar una grasa son: 1. Obtener una grasa sin alteraciones, 2. Maximizar el rendimiento y 3. Conseguir el residuo torta de calidad. Esos objetivos se logran realizando operaciones auxiliares al prensado, como: descascarillar, moler, tratar térmicamente y filtrar.

Las semillas se descascarillan antes de prensarse para incrementar la capacidad de la instalación, así como para evitar pérdidas por absorción en las cortezas. Posteriormente las semillas se muelen para romper las paredes celulares y permitir la salida de la grasa. El tamaño de las partículas se relacionan con la velocidad de la extracción con la siguiente fórmula (Bailey, 1984):

$$V = 1/x^2$$

Donde,

V = Velocidad de extracción

x = Tamaño de las partículas

Es decir, a menor tamaño de las partículas, menor es el tiempo requerido de extracción.

Posteriormente las partículas se tratan térmicamente para lograr la fusión de las grasas haciendo más fácil la separación (Bailey, 1984). La temperatura a tratar está entre los 90 y 100 °C, una temperatura superior puede afectar negativamente las características bioquímicas de la pasta, disminuyendo así su calidad sensorial y biológica (Yanes, 1994).

La grasa separada por la fuerza hidráulica en la prensa trae consigo cantidades minúsculas de sólidos no grasos (entre 0.1-0.5 % de sólidos finos en suspensión), éstas partículas modifican sensiblemente las características sensoriales del producto.

Con el objetivo de obtener una grasa clara y libre de alteraciones, ésta es filtrada a una presión manométrica de  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  a través de un filtro de papel a base de celulosa y a una temperatura de trabajo de  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  (Yanes, 1994).

En resumen, las especificaciones y requisitos para obtener una grasa y residuo de calidad son (Bailey, 1984; Yanes, 1994):

1. Conseguir un cacao tostado y sin cáscaras.
2. Desintegrar en partículas finas ese cacao mediante un molino.
3. Tratar térmicamente el cacao en un tanque agitador entre una temperatura de  $90$  y  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .
4. Presionar el cacao a  $500 \text{ kg/cm}^2$  en un vaso caliente entre  $90$  y  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  y filtrarlo a través de una malla metálica mesh 200.
5. Filtrar la grasa de sólidos suspendidos en un filtro de papel a una presión de  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  y a una temperatura de  $75 \text{ }^\circ\text{C}$ .

En continuación con las etapas del diseño, se continúa con las posibilidades técnicas y económicas. El mayor requerimiento técnico es lograr una presión de  $500 \text{ kg/cm}^2$ , la cual es posible alcanzarla mediante una presión hidráulica y una unidad de área del vaso pequeña.

El diseño se divide en cinco componentes: el vaso, la estructura, el sistema hidráulico, el tanque agitador y el filtro-prensa. A continuación se inicia con el proceso de agitado que se lleva a cabo en el tanque agitador.

### **2.3.2 El tanque agitador**

El tanque agitador es un componente del prototipo cuya función es tratar térmicamente al licor de cacao para que las grasas se calienten a su temperatura de fusión y se distribuyan homogéneamente. En esta parte del equipo no existe un requerimiento especial de los materiales ya que no soportarán una presión alta. La necesidad es mantener entre  $90$ - $100 \text{ }^\circ\text{C}$  sus paredes con la finalidad de que la grasa se derrita.

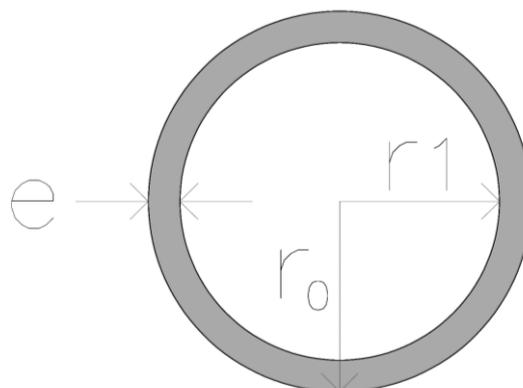
El calor de las paredes aumente mediante una resistencia de 500 Watts para un voltaje de 110 volts. La temperatura se controla al rango deseado por medio de termopares. La transferencia de calor de las paredes del cilindro hacia el licor de cacao se acelera por convección forzada mediante unas aletas con movimiento circular y descendente. El movimiento es provocado por un motor de  $\frac{1}{2}$  HP y 1,700 rpm.

Las dimensiones del cilindro (diámetro interior y altura) se determinaron considerando el área de transferencia de calor. Un área de mayor transferencia acelera el intercambio de calor que un área menor (Holman, 1990).

### 2.3.3 El vaso

El vaso es un componente que contiene el licor de cacao tratado térmicamente durante el prensado. Los requerimientos para este elemento del prototipo son dos: mantener la temperatura entre 90-100 °C de la pasta y soportar la presión máxima de 500 kg/cm<sup>2</sup>.

El cálculo del radio y el espesor del vaso son importantes para la seguridad del equipo. En la bibliografía de diseño en ingeniería mecánica se determina que los cilindros hidráulicos de alta presión deben ser considerados como cilindros de pared gruesa (Shigley, 1977). En la *Figura 8* se muestra un cilindro de pared gruesa.



Fuente: adaptado Shigley, 1977

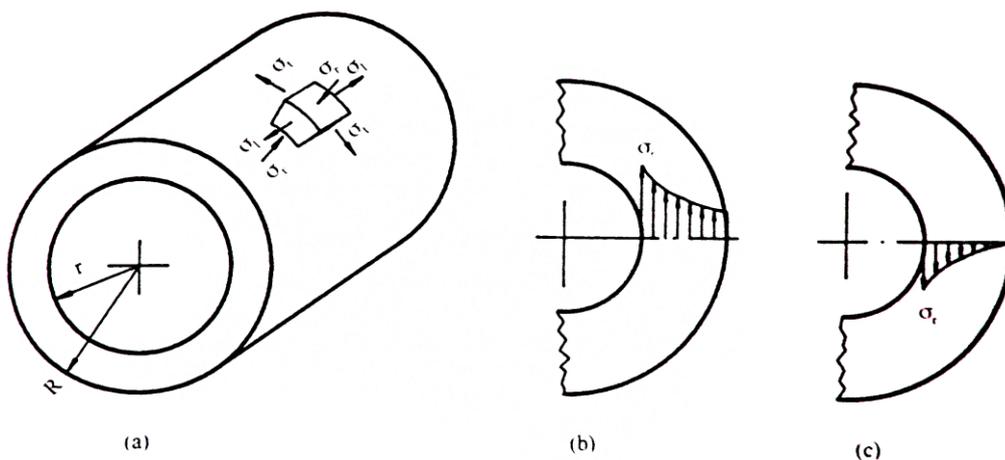
*Figura 8. Cilindro de pared gruesa ( $r_0$ =radio exterior;  $r_1$ =radio interior;  $e$ = espesor).*

El esfuerzo ( $\sigma$ ) son la fuerzas internas del material actuando en una unidad de área que mantienen en equilibrio las fuerzas externas (Popov, 1998).

En un cilindro a presión existen dos tipos de esfuerzos, el tangencial y el radial. El primero, también llamado esfuerzo “hoop”, es el esfuerzo que actúa uniformemente sobre la pared bajo presión, cuya función es resistir la carga que ejerce la presión interna por separar el vaso en dos partes. El segundo es la presión máxima dentro del vaso y ocurre en su superficie interna (Shigley, 1977).

El esfuerzo tangencial es mayor al radial, sin embargo se usarán ambos esfuerzos para calcular el espesor del vaso empleando la teoría del esfuerzo cortante máximo.

En la *Figura 9*, se observan los esfuerzos mencionados en los cilindros de una pared gruesa.



Fuente: Serrano, 2002

*Figura 9. Tensiones en cilindros de pared gruesa.*

En la *Figura 9 (a)* se aprecian las tensiones en el cilindro de pared gruesa cuando ambos extremos se encuentran cerrados. El esfuerzo tangencial  $\sigma_t$  tiende a separar el cilindro en dos partes y su valor máximo lo alcanza en la parte interior del cilindro, como se observa en la *Figura 9 (b)*. El esfuerzo radial  $\sigma_r$  es una tensión a la compresión originada por la presión aplicada al contenido del vaso, su valor máximo lo alcanza en la pared interna y es cero en la pared externa, según se muestra en la *Figura 9 (c)* (Serrano, 2002).

En el diseño de ingeniería mecánica, el empleo de la teoría por esfuerzo cortante máximo es más segura que la teoría del esfuerzo normal máximo, ya que esta última teoría considera la sumatoria de los esfuerzos a tensión y compresión con la ecuación 1 siguiente:

$$\sigma_w = (\sigma_1 - \sigma_3) \quad [\text{Ec:1}]$$

donde,

$\sigma_w$  = El esfuerzo admisible

$\sigma_1$  = El esfuerzo máximo (tangencial)

$\sigma_3$  = El esfuerzo mínimo (radial)

Así mismo el esfuerzo admisible,  $\sigma_w$  es :

$$\sigma_w = \sigma_{ced}/FS \quad [\text{Ec:2}]$$

donde

$\sigma_{ced}$  = El esfuerzo de cedencia

FS = El factor de seguridad del diseño

El uso de esta ecuación nos asegura que el espesor que resulte de los cálculos permitirá que el vaso soporte los esfuerzos que le serán impuestos con un grado de seguridad.

El  $\sigma_{ced}$  es la propiedad mecánica tomada de los manuales o del fabricante del material. La cedencia es el punto donde el espécimen experimenta un aumento relativamente grande de deformación sin que se incremente la carga.

Los materiales se catalogan para unificar criterios de diseño y utilizarlos según sus especificaciones. Los materiales se prueban en laboratorios tomando muestras o especímenes de 0.5 pulg y sus resultados en promedio se publican, los cuales son tomados como una referencia de sus propiedades mecánicas.

Desafortunadamente, la mayoría de los materiales fallan a esfuerzos menores que los publicados en las tablas, una de las causas de esos fallos es que componentes

de mayor tamaño que los especímenes probados fallan a menores esfuerzos que los componentes de menor tamaño (Deutschman, 1999).

El FS evita las incertidumbres, desgastes innecesarios, posibles rupturas del material o falla operacional, en otras palabras procura la seguridad humana de quienes operan la máquina.

El uso de un factor de seguridad en el diseño es importante por las razones explicadas con anterioridad.

El factor de seguridad lo escogimos según la recomendación para materiales que trabajan en condiciones de ambiente ordinarias y sujetas a cargas y esfuerzos que pueden calcularse, éste debe ser entre 2 y 2.5 (Deutschman, 1999).

En el diseño del vaso se usó un  $FS = 2.2$

El metal a utilizar para el vaso es un acero de bajo carbono pues es un material altamente empleado por la industria y la construcción, se usa para tuberías, carros, armazones, tuercas, tornillos, carrocerías y láminas. Si éste es rolo en frío aumenta su resistencia y maquinabilidad (Deutschman, 1999).

El material del cilindro encontrado es un acero de bajo carbono AISI (por sus siglas en inglés significa Instituto Americano del Hierro y el Acero) 1040 rolo en frío con una resistencia a la tracción especificada por el fabricante de  $6,000 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **2.3.4 La estructura**

La estructura es el marco metálico que debe soportar internamente sin deformarse los esfuerzos provocados por la prensa. Este componente lo dividimos en tres elementos importantes: la viga, la columna y la unión por soldadura.

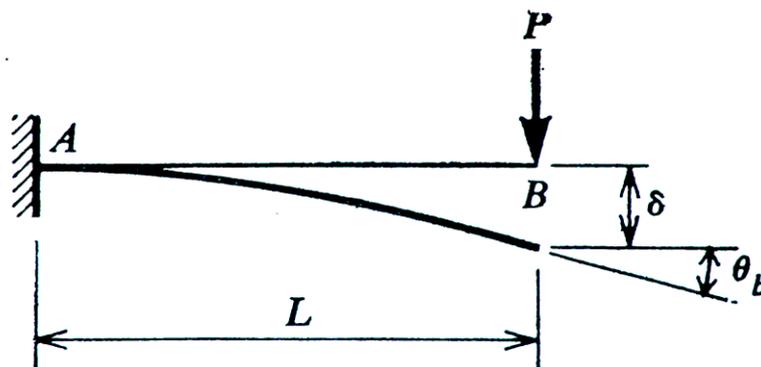
En la mecánica de los sólidos es sumamente importante determinar los esfuerzos en varias secciones del material con la idea de asegurarnos que resistan las fuerzas externas aplicadas (Popov, 1998).

La estructura deberá soportar la fuerza que ejerce el sistema oleohidráulico a través de dos vigas de acero colocadas perpendicularmente a la fuerza externa.

Las vigas se encuentran soldadas en sus extremos a las columnas, lo que significa que se encuentran empotrados. El empotramiento reduce la flexión de la viga transformándola en una flecha hiper-estática.

El momento flexionante máximo en una viga empotrada se encuentra en sus extremos y no en medio como ocurre en las vigas simplemente apoyadas. El cálculo del momento es indispensable para conocer el esfuerzo máximo y crítico que soportará la viga cuyo diseño se presenta posteriormente.

En la *Figura 10* se muestra una viga empotrada en uno de sus extremos.

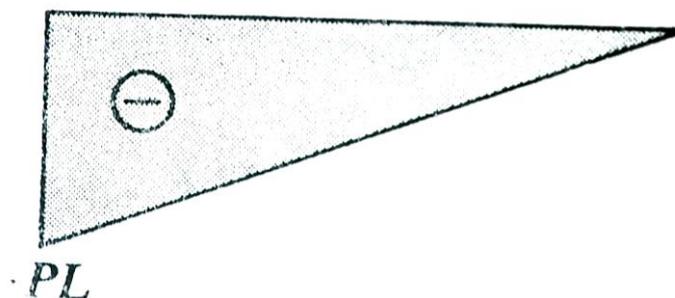


Fuente: Timoshenko, 1997

*Figura 10. Viga empotrada en uno de sus extremos.*

En la *Figura 10* se observa que no existe flexión en el extremo empotrado  $A$ .

En la *Figura 11* se presenta la distribución del momento flexionante de la viga mostrada en la *Figura 10*.



Fuente: Timoshenko, 1997

*Figura 11. Distribución del momento en viga empotrada por un extremo.*

En los extremos de una viga empotrada no se presentan deflexión, en cambio ahí su momento flexionante es máximo, como se observa en la *Figura 10* donde en el extremo A de la viga el momento es máximo y en éste caso negativo debido a la convención de signos.

En la *Figura 11* se muestra la magnitud del momento máximo, esta equivale a

$$M_{\text{máx}} = P(L) \quad [\text{Ec:3}]$$

donde:

P = La fuerza que actúa en el extremo B

L = La distancia entre el extremo A y donde se aplica la fuerza

Brevemente en la ecuación anterior se observa el cálculo del momento flexionante máximo para la viga de la *Figura 11*.

En continuación con la viga de la investigación, esta es doblemente empotrada y presenta una carga distribuida, el momento es inferior a los de una viga simplemente apoyada y de carga puntual en el centro.

El cálculo de la viga doblemente empotrada y con una carga distribuida se puede determinar por el método de superposición.

El método consiste en utilizar los cálculos que se han logrado para diversos tipos de vigas, los cuales se presentan en los anexos de los libros de Resistencias de Materiales, para ser adaptados a la viga que se estudia.

En el diseño tomamos dos ejemplos de vigas, la primera es una viga simplemente apoyada con una carga distribuida a lo largo de una distancia (a) y la segunda es la deflexión de una viga donde únicamente ocurren momentos en sus extremos.

Los ejemplos unidos representan lo que sucede en la viga del diseño, es decir la carga uniforme a lo largo de cierta distancia (a) y los momentos flexionantes máximos en los extremos.

La superposición consiste en calcular la pendiente del extremo A de los dos ejemplos y restarlos. La diferencia equivale a la pendiente que tendría la viga del diseño si no estuviera empotrada.

Ahora bien, como la viga del diseño está empotrada se iguala la pendiente anterior a cero y así mantenemos el principio de pendiente cero.

A continuación se presenta una breve explicación de la pendiente de una viga y el desarrollo de los cálculos para determinar el momento máximo flexionante en la viga empotrada del diseño.

La pendiente mencionada se mide a través del ángulo entre la viga en su posición previa y posterior a la aplicación de la carga. La fuerza aplicada genera un momento flexionante constante cuya flexión provoca un arco circular de curvatura  $M/EI$  (Timoshenko, 1997).

El ángulo  $\theta$  de éste arco es,

$$\theta = ML/EI \quad [\text{Ec:4}]$$

donde,

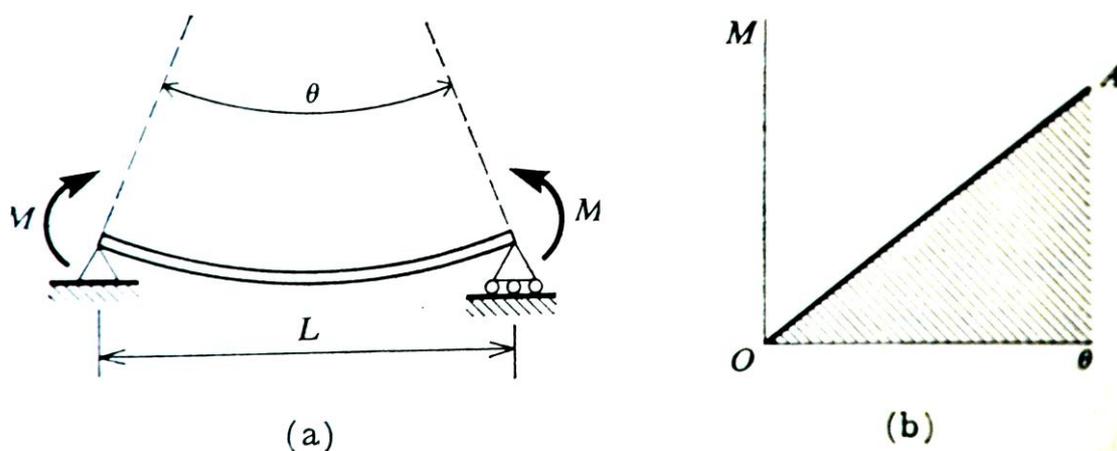
$M$  = Momento flexionante máximo

$L$  = Largo de la viga

$E$  = Módulo de Elasticidad del material seleccionado

$I$  = Momento de Inercia de sección combinada de viga

La *Figura 12* muestra la pendiente  $\theta$  de una viga simplemente apoyada con momentos en sus extremos y la relación lineal entre el ángulo  $\theta$  y la carga  $M$ .



Fuente: Timoshenko, 1997

*Figura 12 (a). Pendiente  $\theta$  en una viga con momentos en sus extremos.  
(b). Relación lineal entre el momento flexionante y la pendiente.*

La *Figura 12 (b)* explica la relación lineal entre el momento flexionante y la pendiente, es decir que en una viga presenta una pendiente mayor al aplicársele un momento flexionante también mayor y viceversa.

Ahora en cuestión de materiales, se ha seleccionado para la viga y columnas un acero de bajo carbono 1010 AISI con una resistencia a la cedencia de  $4792 \text{ kg/cm}^2$  ya que es un acero muy utilizado por la industria.

Las vigas y columnas se unirán por soldaduras, las cuales son de acero 7018. Los dos primeros números del material de la soldadura nos indica la capacidad de carga en kilo-libras por pulgada cuadrada, es decir  $70,000 \text{ psi}$  o  $4,930 \text{ kg/cm}^2$ .

Los cálculos para la columna son diferentes a los de la viga. El fallo en la columna puede generar efectos catastróficos ya que se pueden pandear o doblarse. Una columna puede pandearse más fácilmente si es una columna esbelta.

El grado de esbeltez está en función del largo y ancho de la columna, por ejemplo, una columna se considera esbelta si el largo es grande en relación a su anchura (Timoshenko, 1974).

En el cálculo de columnas de la mecánica de materiales encontramos que el esfuerzo crítico por pandeo es :

$$\sigma_{cr} = P_{cr}/A = (\pi^2 E)/(KL/r)^2 \quad [\text{Ec:5}]$$

donde :

$E$  = Módulo de elasticidad a la tensión ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$K$  = Coeficiente llamado “factor de longitud efectiva”.

$L/r$  = Relación de esbeltez de la columna.

El factor  $K$  puede variar según los apoyos que tenga una columna, si una columna está doblemente empotrada se considera  $K = 0.5$ . En cambio, si la columna está en cantiléver, es decir, que tenga un extremo en voladizo la  $K = 2.0$  (Timoshenko, 1997).

La relación de esbeltez,  $L/r$ , se calcula considerando la longitud de la columna y el radio mínimo de giro,  $r$ .

$$r = \sqrt{I/A} \quad [\text{Ec:6}]$$

donde :

I = Momento de inercia del eje transversal

A = Área transversal de la columna.

Una sección transversal de forma rectangular como la viga y columna empleada en la investigación se calculan:

$$I = (bh^3)/12 \quad [\text{Ec:7}]$$

En la Ecuación 5 se observa que la relación L/r se encuentra en el denominador, esto significa que mientras menor sea la relación de esbeltez de la columna mayor será el  $\sigma_{cr}$ .

En el diseño es importante realizar los cálculos para los casos más críticos o de esfuerzos más grandes.

### **2.3.5 El sistema hidráulico**

El origen de la fuerza es a través de un sistema hidráulico u oleohidráulico. La oleohidráulica es un medio para generar y transmitir energía a través de los fluidos. El sistema ofrece ventajas, es simple, silencioso, de control sencillo y que puede producir presiones superiores a los 600 bar (Serrano, 2002).

El fundamento de los sistemas hidráulicos se basa en la casi incompresibilidad de los líquidos, que una vez presionados transmiten esa energía a pistones de mayor tamaño. La diferencia entre los tamaños de los pistones (el de la bomba y el del cilindro) explica que los cilindros pueda ejercer un trabajo considerablemente más elevado (Serrano, 2002).

Los elementos básicos de un sistema hidráulico son:

La bomba, que es el generador de la presión en el fluido hidráulico.

El actuador, que es el componente capaz de realizar un trabajo venciendo la resistencia (fuerza) externa.

El tanque, que es el lugar donde se almacena el fluido que alimenta las cámaras de las bombas y el cilindro.

Las tuberías, que son el medio que transporta el fluido a presión hasta la cámara del actuador o cilindro.

Las válvulas, que son el que interrumpe el paso o direcciona al fluido voluntariamente de una tubería a otra.

El sistema oleohidráulico aprovecha el principio de la casi incompresibilidad de los líquidos. La fuerza aplicada manualmente a la palanca es multiplicada a la bomba, la cual transmite casi en su totalidad esa misma presión al cilindro. El cilindro al tener una superficie de área mayor se logra elevar la fuerza con que se levanta el pistón (Serrano, 2002).

El diseño oleohidráulico consiste primero en reconocer la fuerza que se demanda, segundo en calcular y diseñar el cilindro actuador, tercero en calcular y diseñar las bombas de presión.

El primer paso, el reconocimiento de la fuerza demandada, se calcula como sigue:

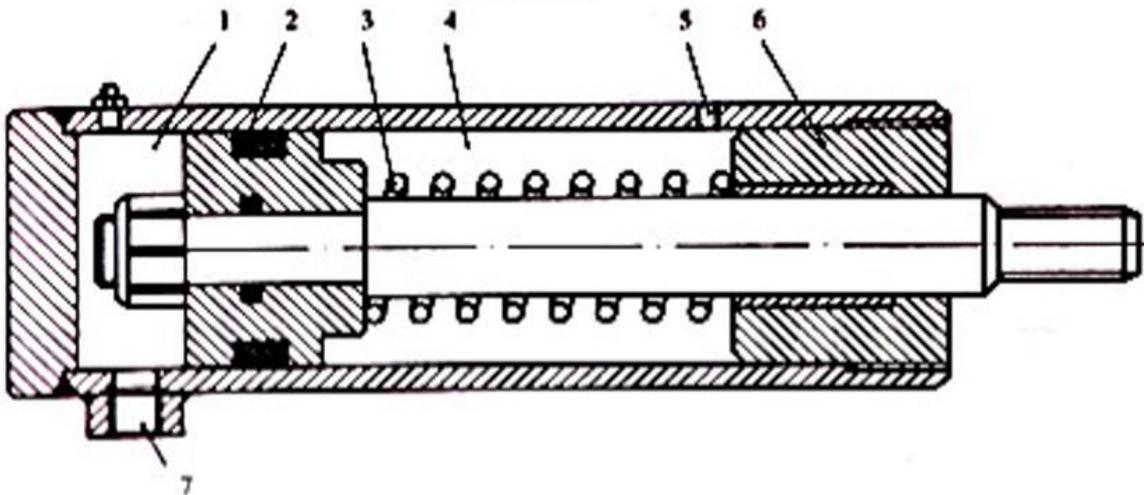
$$\text{Fuerza aplicada} = \text{Presión} (\text{Área transversal a la fuerza}) \quad [\text{Ec:8}]$$

En continuación con los cilindros, estos son la parte del sistema hidráulico que ejerce el trabajo, también son llamados actuadores. Estos actuadores realizan un movimiento que avanza y retrocede de manera rectilínea y que por medio del caudal de aceite y la presión de las bombas ejercen el trabajo. Existen en el mercado actuadores de giro o actuadores de motor hidráulico o las pinzas, pero los más usados son los cilindros (Serrano, 2002).

Los actuadores de cilindro pueden ser de doble y simple efecto. El cilindro empleado en nuestro sistema es el segundo por ser de naturaleza más sencilla. Ambos tipos funcionan bajo el mismo principio, ya que cuando aceite a presión penetra a la cámara, el pistón es empujado haciendo un movimiento rectilíneo de avance y realizando un trabajo. La diferencia entre ambos está en las veces que el aceite alimenta a la cámara.

En el cilindro de doble sentido, el aceite penetra cuando el pistón avanza y también cuando retrocede, mientras que en el cilindro de un solo sentido el aceite normalmente penetra cuando el pistón avanza (Serrano, 2002).

En la *Figura 13* se presenta un cilindro de simple efecto:



Fuente: Serrano, 2002

*Figura 13. Cilindro de simple efecto.*

El cilindro de simple efecto presentado es sencillo puesto que el aceite ingresa normalmente cuando el cilindro avanza produciendo un trabajo. El movimiento de retroceso se lleva a cabo por medio de un resorte interior.

La *Figura 13* muestra las diferentes partes del cilindro que a continuación se explica. La cámara (1) es el lugar donde el aceite penetra cuando ingresa al cilindro al atravesar el orificio (7). Al avanzar el vástago del cilindro el aire del recinto (4) es desalojado hacia fuera por el conducto (5). El resorte (3) que se halla comprimido en el avance, hace retroceder al cilindro a su posición inicial cuando se expande, y en ese momento ingresa aire al recinto (4) por medio el mismo conducto (5) (Serrano, 2002).

El prototipo a construir tiene una naturaleza experimental pues el objetivo es medir la presión ejercida al cacao adentro del vaso y no la presión del aceite contenida en el cilindro actuador. La medición de la presión se realiza por un manómetro. El manómetro mide la presión del aceite actuando adentro del cilindro; entonces, con la finalidad de conocer de una forma sencilla la presión aplicada al cacao adentro del

vaso se decidió diseñar el diámetro del cilindro actuador con las mismas medidas internas que el vaso.

En otras palabras, la presión que registra el manómetro equivale a la presión aplicada al cacao en el vaso porque el cilindro actuador genera la fuerza en la misma unidad de área.

En continuación con el cilindro, se presentan los fundamentos técnicos para calcular su espesor. El espesor del cilindro puede ser considerada de pared delgada o pared gruesa. La diferencia entre ambos radica en la presión del fluido, pues a mayor presión mayor espesor requiere la pared para soportar los esfuerzos. En nuestro caso la fuerza requerida es originada por presiones que son consideradas altas. Normalmente el espesor de un cilindro con pared gruesa debe ser mayor al 10% del diámetro del cilindro (Serrano, 2002).

El esfuerzo más importante para el cálculo de los espesores de los cilindros bajo presión es el esfuerzo tangencial, pues podría ocasionar separar en dos partes el cilindro. Sin embargo, la teoría del esfuerzo cortante máxima considera ambos esfuerzos, el máximo y el mínimo (Serrano, 2002). La siguiente Ecuación 3 equivale a las Ecuaciones 1 y 2 mostradas en los cálculos del espesor del vaso.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_{ced}/FS \quad [Ec:9]$$

donde,

$\sigma_1$  = El esfuerzo máximo, esfuerzo tangencial  $\sigma_t$

$\sigma_3$  = El esfuerzo mínimo, esfuerzo radial  $\sigma_r$

$\sigma_{ced}$  = El esfuerzo de cedencia del material

FS = El factor de seguridad del diseño

El esfuerzo mayor, el esfuerzo tangencial, se calcula como sigue,

$$\sigma_1 = P (R^2 + r^2)/(R^2 - r^2) \quad [Ec:10]$$

donde :

P = Presión interior del cilindro en  $kg/cm^2$

R = Radio exterior del cilindro en cm

r = Radio interior del cilindro en cm

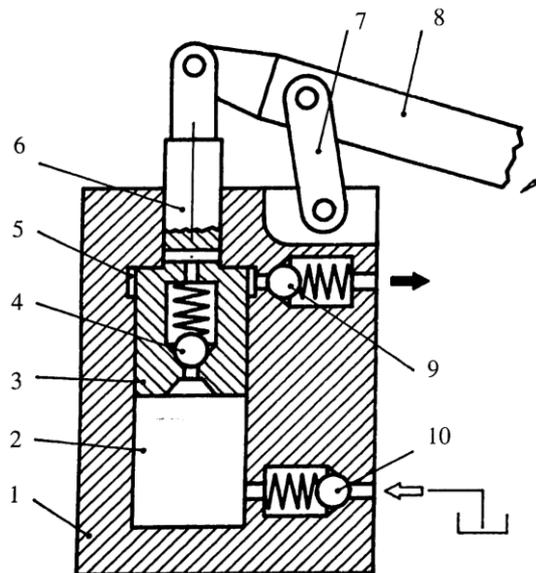
El esfuerzo menor, el esfuerzo radial, se calcula como sigue,

$$\sigma_3 = - P \quad [\text{Ec:11}]$$

El esfuerzo de cedencia,  $\sigma_{\text{ced}}$ , del acero AISI 1040 rolado en frío es de 6,000 kg/cm<sup>2</sup> y el factor de seguridad, FS, seleccionado es de 2.

En continuación con las bombas, se presenta su funcionamiento y el fundamento técnico del cálculo del diámetro del pistón. Las bombas empleadas en el proyecto de investigación son de tipo manual, ya que son las más sencillas y económicas de su tipo. A pesar de ello su desventaja es el esfuerzo muscular por medio de una palanca para ejercer presión al aceite (Serrano, 2002).

La *Figura 14* muestra el esquema de una bomba de accionamiento manual.



Fuente: Serrano, 2002

*Figura 14. Bomba manual.*

La bomba de accionamiento manual son utilizadas para diversos usos donde se requieren realizar fuerzas elevadas (Serrano, 2002).

La *Figura 14* muestra el accionamiento común de la mayoría de las bombas manuales, a continuación se explica su funcionamiento.

La bomba (1) en su interior presenta un cilindro cuyo pistón (3) se desliza haciendo movimientos de avance y retroceso. El pistón mencionado y su vástago (6) avanzan cuando la palanca (8) que está articulada y provista por un eslabón (7) ejerce una fuerza.

El aceite ingresa a la cámara (2) cuando el pistón avanza pues se produce un vacío y es aspirado del depósito por medio de una válvula de anti-retorno (10). El pistón al retroceder genera una presión que cierra la válvula (10) y abre la válvula de admisión (4), entonces el aceite ingresa a la cámara superior (5).

El pistón al avanzar de nuevo comprime el aceite en (5) que es enviado al cilindro actuador por medio de la válvula (9).

Al ascender el pistón genera dos funciones, aspira aceite del depósito y envía aceite comprimido al cilindro (Serrano, 2002).

Una vez presentado el funcionamiento de una bomba manual, se explica el fundamento para determinar el diámetro del pistón.

La Ecuación 8 se utiliza también para determinar el diámetro del pistón de la bomba. Para ello, sólo se tiene que despejar el área transversal a la fuerza como sigue:

$$\text{Área transversal a la fuerza} = \text{Presión}/\text{Fuerza aplicada}$$

En la Ecuación 8, a diferencia del cilindro, la fuerza aplicada es la fuerza muscular ejercida a la palanca de la bomba; la presión es  $500 \text{ kg/cm}^2$  y el área transversal es la superficie del pistón de la bomba.

El cálculo de la fuerza aplicada sobre la bomba se realiza mediante una suma de momentos en el vástago del pistón de la bomba. El momento generado por la fuerza muscular a lo largo de la palanca equivale al momento en sentido contrario de una fuerza superior sobre el vástago del pistón haciendo una palanca entre la distancia del vástago y el eslabón. La suma de los momentos igualadas a cero permite despejar la fuerza superior sobre el vástago del pistón.

Determinando la fuerza aplicada se regresa a la Ecuación 8 para calcular el diámetro del pistón de la bomba.

### **2.3.6 El filtro-prensa**

El filtro-prensa es el último componente del diseño y construcción cuya función es eliminar aquellas partículas sólidas de cacao que salieron junto con la grasa después del prensado.

El elemento tiene la forma de un cilindro cuya entrada de grasa es por la parte superior, a media altura del cilindro se tiene una resistencia eléctrica de 500 Watts para un voltaje de 110 Volts. El calor mantiene la grasa en su estado líquido favoreciendo así su filtración. En el fondo del cilindro se encuentra tres componentes que facilitan el filtrado: dos placas barrenada de diferente espesor y un papel. El filtro de papel se ajusta entre las placas, se coloca en el fondo y separa los sólidos suspendidos en la grasa. El cilindro tiene una salida inferior que lleva la grasa hacia un contenedor.

El recorrido que la grasa realiza desde la salida de la prensa hasta el contenedor después del filtro-prensa es posible mediante una fuerza neumática. Dicha fuerza es provocada por la presión que genera una bomba manual de aire.

Las dimensiones del cilindro (diámetro interior y altura) se determinaron considerando el área de transferencia de calor. Puesto que un área de mayor transferencia acelera el intercambio de calor que un área menor (Holman, 1990).

### 3. Metodología

La metodología para diseñar, construir y evaluar el prototipo para desgrasar el cacao se presenta a continuación. Esta sección se divide en: (1) la prensa extractora, (2) las hipótesis y (3) el muestreo y análisis estadístico.

#### 3.1 La prensa extractora

En esta parte se dividen los componentes más relevantes de la prensa: El tanque agitador, el vaso, la viga, la columna, el sistema oleohidráulico y el filtro-prensa. Se detallan las fórmulas y los cálculos del diseño de cada componente con asesoría del Ing. José Mojica González, profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey. La construcción y evaluación del prototipo se realizaron en el taller de maquinado del Sr. Jorge Luis Sánchez Rosas ubicados en la calle Pascual Morales manzana 64, lote 4 de la Colonia Granjas Valle de Guadalupe del municipio Ecatepec, Estado de México.

##### 3.1.1 El tanque agitador

Antes de presentar el razonamiento del diseño del tanque agitador, se recuerda que el equipo es para uso experimental, razón por la que algunas medidas como la altura del vaso se ha dejado para varias capacidades de llenado. Se inicia calculando el volumen del vaso ya que el volumen del tanque agitador debe ser mayor o igual a este.

El vaso que contiene el cacao tiene las siguientes medidas,

$$r_i = 6.6 \text{ cm, radio interior}$$

$$h_i = 12.7 \text{ cm, altura interior}$$

Con dichas medidas se calcula la capacidad del contenido del vaso

$$A = \pi (6.6)^2$$

$$A = 136.8 \text{ cm}^2$$

$$V = A(h)$$

$$V = 136.8(12.7)$$

$$V = 1,738 \text{ cm}^3$$

$$V = 1.7 \text{ litros}$$

El volumen calculado es el máximo, sólo que despreciamos un 10% de dicho volumen para que se tenga un espacio libre adentro del vaso, entonces el volumen del contenido máximo es,

$$V_{\text{máx}} = V (90 \%)$$

$$V_{\text{máx}} = 1.5 \text{ litros}$$

Es importante determinar la capacidad del contenido del vaso para calcular el volumen del tanque agitador. Se recuerda que el tanque agitador es un mecanismo previo al prensado y que tiene la función de tratar térmicamente al cacao molido con la finalidad de elevar homogéneamente su temperatura entre un rango de 90-100 °C (Yanes, 1994).

En otras palabras, el tanque agitador abastece de cacao tratado térmicamente a la prensa. Con la finalidad de realizar los experimentos de la forma más práctica posible se determinó que el volumen del tanque fuera de 3 litros.

Teniendo el volumen del tanque es necesario diseñar la forma y el tamaño de éste componente.

La forma del tanque es la de un cilindro puesto que una forma diferente tendría el riesgo de ocasionar la presencia de residuos en los ángulos de sus paredes.

En la literatura de transferencia de calor se determina que para transferir calor al contenido de un cilindro es importante considerar el área de dicha transferencia. Puesto que un área mayor de transferencia acelera el intercambio de calor que un área menor (Holman, 1990), se ha tomado la decisión de tener un radio pequeño en comparación a su altura, digamos como un envase de refrescos de 3 litros.

El área de intercambio de calor en un cilindro se determina con la Ecuación 12,

$$A_r = 2\pi rL \quad [\text{Ec:12}]$$

donde,  $A_r$  = área de intercambio de calor para un cilindro

$r$  = radio interno del cilindro

$L$  = Longitud o altura del cilindro

A continuación se calcula las áreas de transferencia de calor de dos cilindros distintos con mismo volumen de 3 litros.

Ejemplo 1

$$r = 8 \text{ cm}$$

$$L = 15 \text{ cm}$$

$$r/L = 53 \%$$

$$A = \pi(8)^2$$

$$A = 201 \text{ cm}^2$$

$$V = A(L)$$

$$V = 201(15)$$

$$V = 3,015 \text{ cm}^3$$

Entonces, el área de transferencia se calcula usando la Ecuación 11,

$$A_r = 2\pi(8)15$$

$$A_r = 753 \text{ cm}^2$$

Ejemplo 2,

$$r = 5.65 \text{ cm}$$

$$L = 30.00 \text{ cm}$$

$$r/L = 19 \%$$

$$A = \pi(5.65)^2$$

$$A = 100.3 \text{ cm}^2$$

$$V = A(L)$$

$$V = 100.3(30)$$

$$V = 3,008 \text{ cm}^3$$

Entonces, el área de transferencia se calcula utilizando la Ecuación 11,

$$A_r = 2\pi(5.65)30$$

$$A_r = 1,065 \text{ cm}^2$$

En ambos ejemplos, se observa claramente que el área de transferencia aumenta tomando un radio de medida mucho menor a su longitud, esto para un mismo volumen.

Las medidas reales del cilindro son,

$$R = 5.71 \text{ cm}$$

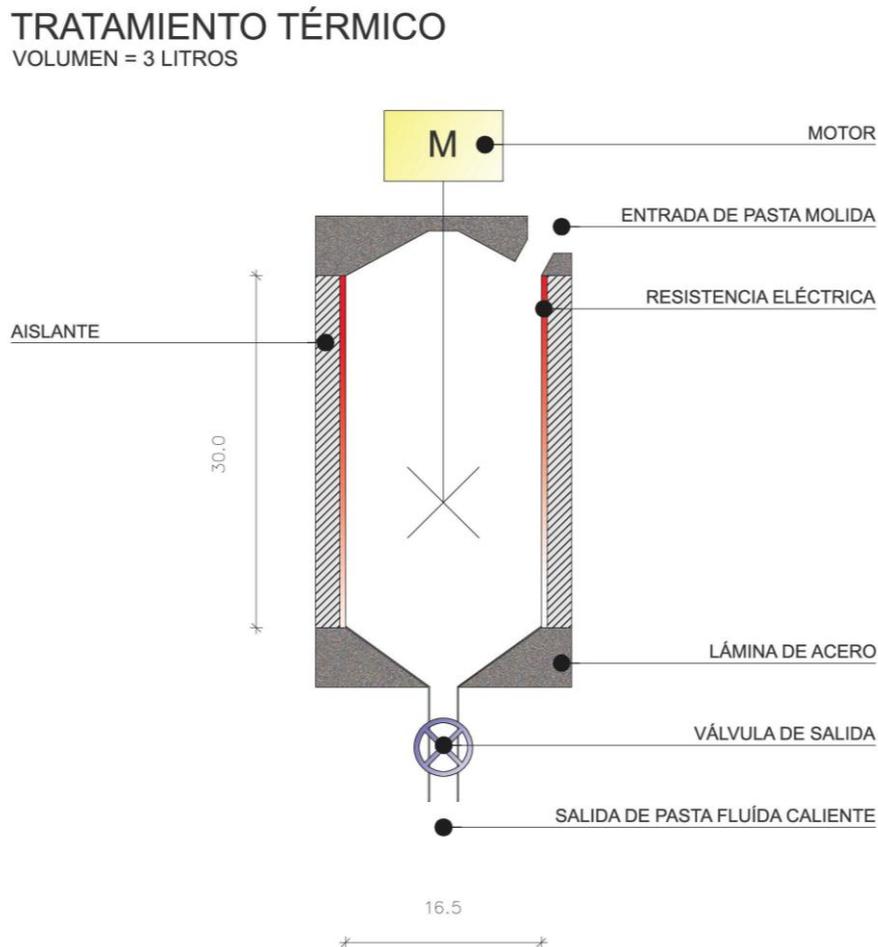
$$L = 30 \text{ cm}$$

La transferencia de calor uniforme al cacao en el tanque agitador se realiza mediante dos componentes, el primero es la fuente de energía en las paredes del cilindro mediante una resistencia de 500 Watts para un voltaje de 110 Volts y el segundo mediante una agitación forzada por unas aletas en el interior del cilindro.

La temperatura en las paredes del cilindro se eleva a un rango entre 90-100 °C y se mantiene mediante unos controladores de temperatura. Si ésta se eleva la resistencia se apaga y cuando baja la resistencia se enciende.

La convección forzada se realiza mediante el movimiento circular que realiza un motor de ½ HP y de 1,700 rpm. Este movimiento es trasladado al tubo que contiene las aletas mediante una polea de 8 pulg de diámetro.

La *Figura 15* que sigue muestra al tanque agitador.



*Figura 15. Dibujo del agitador.*

En la *Figura 15* se observa que la forma del tanque agitador es a un radio muy inferior a su longitud.

El funcionamiento es sencillo, el cacao molido ingresa por la parte superior, se enciende el motor, la resistencia eléctrica y en alrededor de una hora el cacao sale caliente y líquido.

### 3.1.2 El vaso

El diseño del vaso se divide en: calcular el radio, calcular el espesor y el drenaje de la grasa.

### 3.1.2.1 Cálculo del radio

El radio del vaso se calculó en función de tres factores que son: el contenido de licor de cacao, la fuerza hidráulica necesaria para lograr la presión máxima de 500 kg/cm<sup>2</sup> y la facilidad de encontrar un cilindro (acero de bajo carbono AISI 1040 rolado en frío) en el mercado.

El primer factor, el contenido de la pasta de cacao se encuentra limitado no sólo por el área del vaso sino también por la altura de llenado. En las visitas a las fábricas de chocolate se observó que la torta de cocoa residual tiene dimensiones con las características de un disco, es decir su altura es muy inferior a su diámetro. En una de las fábricas se tomaron las siguientes medidas del vaso de la prensa:

Diámetro interior = 18 pulg

Altura interior = 5 pulg

Estos datos señalan una posible relación entre ellos:

Altura / Diámetro = 0.278

La altura representa el 27,8 % del diámetro.

Esta relación llevó a considerar el posible volumen contenido de cacao dentro de los diferentes radios de vasos mostrados en el *Cuadro 3* siguiente:

*Cuadro 3. Alternativas de medidas para el vaso de la prensa.*

Radio del vaso (cm)	Altura del vaso al 27.8% del diámetro (cm)	Volúmen de pasta contenida en vaso (L)	Contenido en vaso de cacao (kg)
5.0	2.8	0.2	0.2
6.6	3.7	0.5	0.5
7.5	4.2	0.7	0.8
10.0	5.6	1.7	1.9

Los volúmenes en litros del *Cuadro 3* se convirtieron a kilogramos al conocer al factor de densidad que la bibliografía del cacao presenta.

La pasta de cacao a la salida del tratamiento térmico (temperatura 80 °C) tiene una densidad de  $\rho=1.086$  kg/L (Yanes, 1994).

El segundo factor, la fuerza hidráulica necesaria para lograr la presión máxima de 500 kg/cm<sup>2</sup> depende del radio del vaso.

En el siguiente *Cuadro 4* se presentan algunas alternativas para seleccionar el radio del vaso según su requerimiento en fuerza hidráulica.

*Cuadro 4. Cálculos de fuerza según radio de vaso.*

Radio del vaso (cm).	Fuerza necesaria (1,000 kg) para lograr los 500 kg/cm <sup>2</sup> .
5.0	39.25
6.6	68.40
7.5	88.35
10.0	157.08

Fuente: adaptado de Yanes, 1994

En el *Cuadro 4* se puede observar la relación lineal que existen entre el radio del vaso y la fuerza necesaria, a menor radio también menor es la fuerza hidráulica necesaria para llegar a la presión indicada.

El tercer factor, las medidas encontradas en el mercado. Se determinó maquinar un cilindro para un radio del vaso interior a los 6.6 cm porque además de encontrarlo en el mercado, éste radio compromete el empleo de una fuerza inferior a las 70 ton de fuerza para alcanzar la presión indicada; además su contenido de pasta permite la extracción de la grasa de los 4 kg diarios si el equipo es utilizado varias veces.

### 3.1.2.2 Cálculo del espesor

El segundo factor para el diseño del vaso es el cálculo del espesor. En la literatura de ingeniería de materiales se encontró que cualquier construcción debe asegurar que todos sus componentes físicos soporten las fuerzas que le son o serán impuestas, siendo así el caso de las paredes de un cilindro (Popov, 1998).

El material del cilindro es un acero de bajo carbono AISI (por sus siglas en inglés significa Instituto Americano del Hierro y el Acero) 1040 rolado en frío con una resistencia a la cedencia especificada por el fabricante de 6,000 kg/cm<sup>2</sup>.

Con este dato se determina el esfuerzo permisible  $\sigma_w$  con la Ecuación 2

$$\sigma_w = \sigma_{ced}/FS$$

$$\sigma_w = 6,000 \text{ kg/cm}^2/2.2$$

$$\sigma_w = 2,727 \text{ kg/cm}^2$$

Teniendo el esfuerzo permisible, ahora se emplea la teoría del esfuerzo cortante máximo para encontrar el espesor del vaso con la Ecuación 1

$$\sigma_w = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

El esfuerzo tangencial ( $\sigma_1$ ) se calcula con la Ecuación 10

$$\sigma_1 = P(R^2 + r^2)/(R^2 - r^2)$$

El esfuerzo radial ( $\sigma_3$ ) se determina con la Ecuación 11

$$\sigma_3 = -P$$

Sustituimos los resultados de las Ecuaciones 10 y 11 en la Ecuación 1 para emplear la teoría del esfuerzo cortante:

$$\sigma_w = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$2,727 = P(R^2 + r^2)/(R^2 - r^2) + P$$

El radio interno del vaso ( $r$ ) es de 6.6 cm, ahora nos falta calcular el radio externo ( $R$ ) con la Ecuación 13

$$e = R - r \quad [\text{Ec:13}]$$

Continuando con la Ecuación 1 y despejando a R:

$$2,727 = 500 (R^2 + 6.6^2)/(R^2 - 6.6^2) + 500$$

$$2,227 = 500 (R^2 + 6.6^2)/(R^2 - 6.6^2)$$

$$2,227 = 500 (R^2 + 43.56)/(R^2 - 43.56)$$

$$2,227R^2 - 97,008 = 500 R^2 + 21,780$$

$$1,727 R^2 = 118,788$$

$$R^2 = 68.78$$

$$R = 8.29$$

Si  $R = 8.29$ , entonces el espesor del vaso se determina con la Ecuación 12

$$e = R - r$$

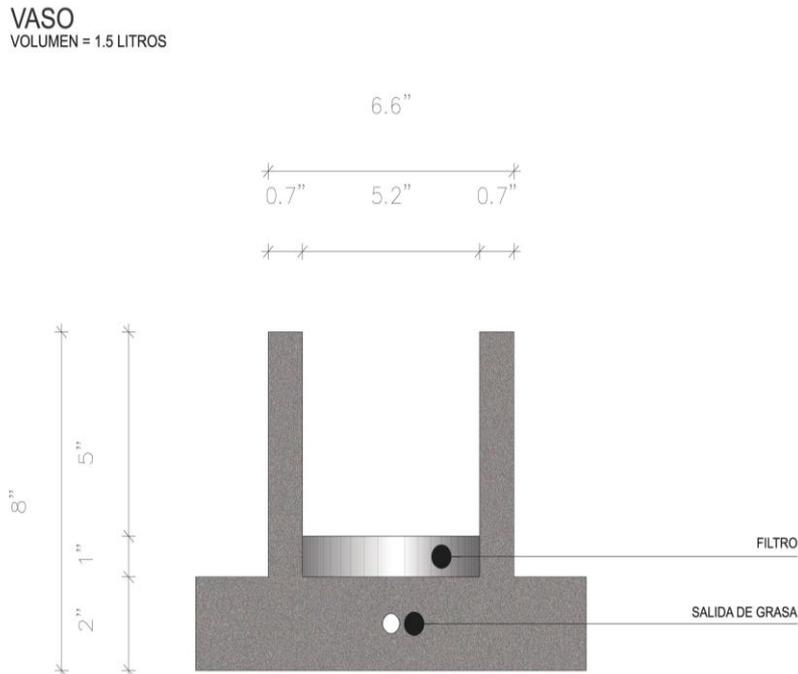
$$e = 8.29 - 6.60$$

$$e = 1.69 \text{ cm}$$

$$e = 0.66 \text{ pulg}$$

El espesor del vaso es de 0.7 pulgadas, un poco mayor al espesor calculado que es de 0.66 pulgadas.

La *Figura 16* presenta el diseño del vaso,



Fuente: adaptado de Bailey, 1984

*Figura 16. Dibujo de parte frontal del vaso.*

La capacidad máxima del vaso es de 1.5 litros, así el contenido podría ser otra variable a controlar en el experimento.

Obtenido el espesor, seguimos con el tercer punto para determinar el diseño del vaso, el drenaje de la grasa.

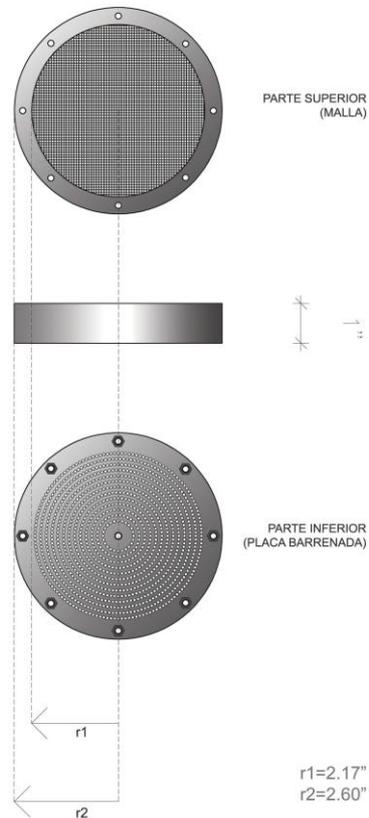
### 3.1.2.3 El drenaje de la grasa

La grasa es drenada en el filtro metálico mesh 220 y después fluye por dos partes: primero en la placa adentro del vaso y segundo por la base que sostiene al vaso.

En el fondo del vaso se coloca la placa barrenada que tiene dos funciones, la primera es sostener a la malla metálica por donde pasa la grasa y separa las partículas sólidas y la segunda función de la placa es servir de conducto por donde escurre la grasa y llega al fondo del vaso.

La *Figura 17* muestra el diseño del filtro vistos por la parte superior e inferior.

#### FILTRO



Fuente: adaptado de Bailey, 1984

*Figura 17. Dibujo del filtro.*

Una vez que la grasa fluye hacia el fondo del vaso ésta escurre de la base hacia la salida de la prensa a través de canales.

### 3.1.3 La estructura

El diseño de la estructura se encuentra dividida en viga, columna y soldadura.

### 3.1.3.1 La viga

La viga es el componente perpendicular a la fuerza aplicada. Los cálculos determinan que a una superficie de radio 6.6 cm es necesario aplicar una fuerza externa de casi 70,000 kg para lograr ejercer una presión de 500 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha fuerza es soportada por la viga y las columnas.

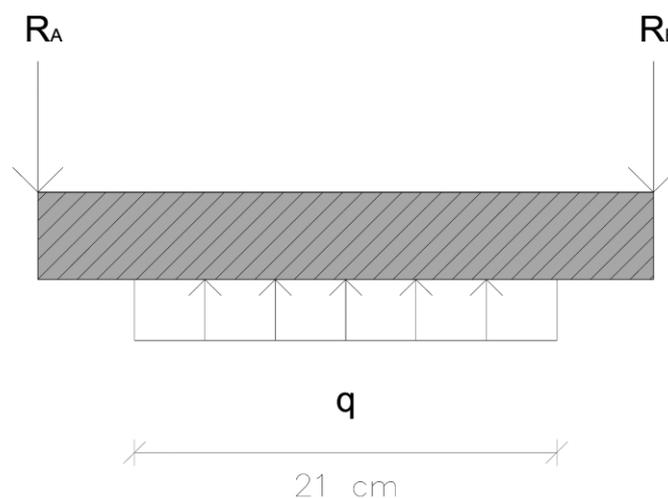
En la viga, la fuerza se distribuye uniformemente a través de una placa que sostiene al pistón o émbolo y que está en contacto con la viga superior. El largo de dicha placa es de 21 cm, longitud por donde se distribuye la carga a través de  $q$  como sigue:

$$q = F/21$$

$$q = 70,000/21$$

$$q = 3,334 \text{ Kg/cm}$$

La fuerza máxima ejercida para lograr los 500 kg/cm<sup>2</sup> de presión es de alrededor 70 ton de fuerza (70,000 kg). Dicha fuerza externa se distribuye en 21 cm en la viga doblemente empotrada. En la *Figura 18* se muestra la distribución de carga en la viga.



Fuente: adaptado Timoshenko, 1997

*Figura 18. Distribución de la carga aplicada sobre la viga de la prensa.*

La viga se diseña para soportar la fuerza aplicada, para ello es importante calcular el momento flexionante máximo (M). La fuerza genera un momento flexionante constante cuya flexión provoca un arco circular de curvatura  $M/EI$  (Timoshenko, 1997).

El ángulo ( $\theta$ ) de éste arco se determina utilizando la Ecuación 4

$$\theta = ML/EI$$

donde,

M = Momento flexionante máximo

L = Largo de la viga

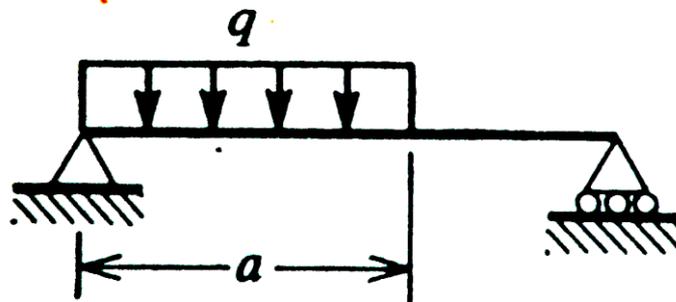
E = Módulo de elasticidad del material seleccionado

I = Momento de inercia de la viga

El ángulo del extremo A de la viga ( $\theta_A$ ) se determina mediante el método de superposición. La superposición consiste en utilizar ejemplos de vigas parecidas para determinar la viga deseada.

En el caso particular de la investigación se tomaron dos ejemplos de viga: la primera es una viga simplemente apoyada con una carga distribuida a lo largo de una distancia (a) y la segunda es una viga con momentos flexionantes en sus extremos.

Se muestran los cálculos para determinar  $\theta_A$  de una viga simplemente apoyada y de carga distribuida. La *Figura 19* presenta el ejemplo 3 del apéndice D-2 del libro de Timoshenko. La viga está simplemente apoyada con una carga distribuida a lo largo de una distancia (a).



Fuente: Timoshenko, 1997

*Figura 19. Viga simplemente apoyada con una carga distribuida a lo largo de (a).*

El  $\theta_A$  en una viga cargada uniformemente a lo largo de una distancia  $a$  y el resto de la viga libre se determina con la Ecuación 14

$$\theta_A = qa^2(2L - a)^2/24LEI \quad [\text{Ec:14}]$$

La viga es sólo un ejemplo ya que no representa la viga de la prensa. El cálculo real de  $\theta_A$  requiere superponer la Ecuación 15

$$\theta_A = \theta_A' - \theta_A'' \quad [\text{Ec:15}]$$

En  $\theta_A'$ , la longitud de  $a$  (longitud de la carga uniforme) será:  $a = 30.50$  cm.

En  $\theta_A''$ , el valor de  $a = 9.5$  cm.

Ahora sustituyendo valores a la Ecuación 14 se tiene que:

$$\theta_A' = q(30.50)^2 (2(40) - 30.50)^2/24(40)EI$$

$$\theta_A' = 2,374.3q/EI$$

y

$$\theta_A'' = q(9.50)^2(2(40) - 9.50)^2/24(40)EI$$

$$\theta_A'' = 467.3q/EI$$

Entonces, la diferencia entre ambas  $\theta$ 's representa la pendiente en el extremo A de la viga cuando se le aplica una carga distribuida en 21 cm a partir de una distancia de 9.5 desde los extremos.

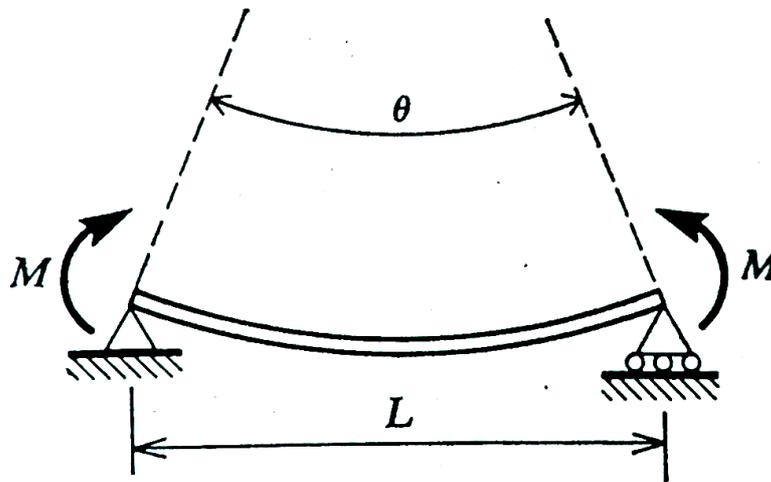
$$\theta_A = \theta_A' - \theta_A''$$

$$\theta_A = 2,374.3 - 467.3 (q/EI)$$

$$\theta_A = 1,907 q/EI$$

Los cálculos anteriores determinan  $\theta_A$  para la distribución de carga en viga simplemente apoyada. Ahora se continúa el método de superposición para determinar  $\theta_a$  para una viga con momentos flexionantes en ambos extremos.

En la siguiente *Figura 20* se muestra a una viga con momentos flexionantes en sus extremos.



Fuente: Timoshenko, 1997

*Figura 20. Viga con momentos flexionantes en sus extremos.*

En el ejemplo 7 de la Tabla D-2 del libro de Timoshenko (1997) se obtiene la ecuación para determinar la pendiente  $\theta$  en el extremo a de una viga con momentos flexionantes en los extremos (usamos la letra a en minúscula para diferenciarla con la pendiente anterior).

La pendiente  $\theta_a$  es provocada por los momentos en a y en b, cada momento impacta de manera diferente en el extremo a.

El momento en A provoca  $\theta_a$  con la Ecuación 16

$$\theta_a = ML/3EI \quad [\text{Ec:16}]$$

El momento en B provoca  $\theta_a$  con la Ecuación 17

$$\theta_a = ML/6EI \quad [\text{Ec:17}]$$

Ambas pendientes se suman y generan la Ecuación 18

$$\theta_{a \text{ tot}} = ML/3EI + ML/6EI$$

$$\theta_{a \text{ tot}} = ML/2EI \quad [\text{Ec:18}]$$

Ahora que se ha determinado las pendientes en el extremo A provocadas por la carga distribuida y los momentos se restan e igualan a cero para asegurar el cumplimiento del principio de pendiente cero en una viga empotrada con la Ecuación 18.

Entonces

$$\theta_A - \theta_{a \text{ tot}} = 0 \quad [\text{Ec:19}]$$

$$1,907 \text{ q/EI} - \text{ML}/2\text{EI} = 0$$

Sustituyendo valores, se tiene

$$1,907(3,334)/\text{EI} = \text{M}(40)/2\text{EI}$$

Eliminando en ambos lados EI y despejando a M se tiene

$$\text{M} = 1907(3,334)2/40$$

$$\text{M} = 317,896 \text{ kg cm}$$

Teniendo M, se calcula el esfuerzo máximo en la viga con la Ecuación 19

$$\sigma_{\text{máx}} = \text{M}/\text{S} \quad [\text{Ec:20}]$$

donde,

$$\sigma_{\text{máx}} = \text{Esfuerzo máximo}$$

$$\text{M} = \text{Momento flexionante máximo}$$

$$\text{S} = \text{Módulo de sección de la viga combinada.}$$

Hasta ahora se ha determinado únicamente el momento flexionante máximo, pero para calcular el  $\sigma_{\text{máx}}$  se requiere obtener primero el valor de S.

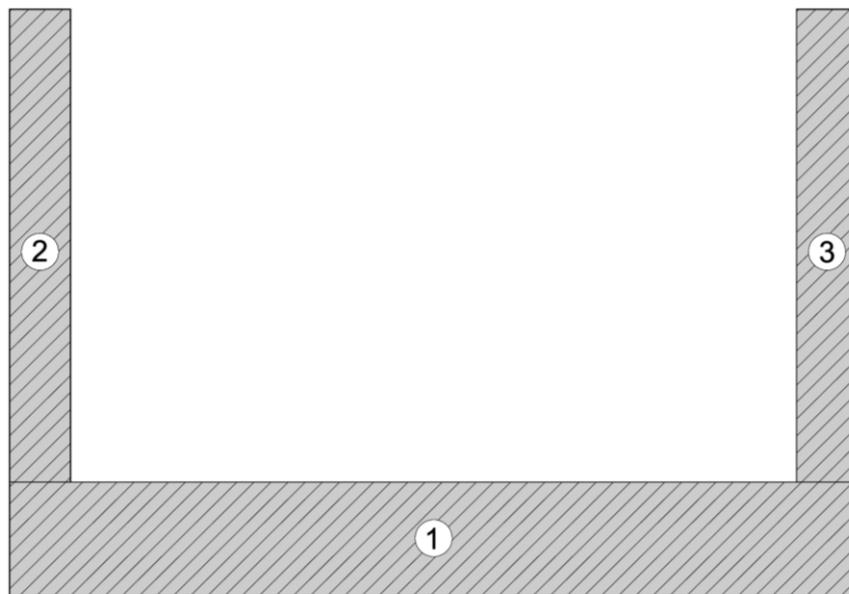
Entonces, se determina el valor S.

La viga es de sección combinada y está sujeta a una flexión debido a la fuerza aplicada al centro de ella.

La viga se compone de tres secciones, las medidas en centímetros de ellas y la forma que están combinadas es la siguiente:

	1	2	3
Base	17.80	1.28	1.28
Alto	2.40	10.00	10.00

En la *Figura 21* se muestra el perfil de la viga,



Fuente: adaptado de Timoshenko, 1997

*Figura 21. Dibujo del perfil de la viga.*

El cálculo del módulo de sección para una viga combinada requiere de un *Cuadro 5* siguiente

*Cuadro 5. Cálculos para determinar el módulo de sección S.*

Sección	A	Yc	Ayc	Ic	d <sup>2</sup>	Ad <sup>2</sup>
1	42.72	1.2	51.2	20.5	5.38	229.8
2	12.80	7.4	94.7	106.6	15.05	192.6
3	12.80	7.4	94.7	106.6	15.05	192.6
Σ	68.32		240.6	233.7		615.0

Fuente: elaboración propia

Donde

A = área de la sección (cm<sup>2</sup>): base x altura

Yc = distancia del punto neutral de cada sección de viga al borde inferior (cm)

Ayc = Área de la sección multiplicada por Yc (cm<sup>3</sup>)

d = distancia del punto neutral de cada sección de viga al borde correspondiente, la viga 1 al borde c<sub>1</sub> y las vigas 2 y 3 al borde c<sub>2</sub> (cm).

Ic = momento de inercia de la cada sección de viga (cm<sup>4</sup>), la fórmula para secciones de forma rectangular es  $I = \text{base}(\text{altura}^3)/12$

El punto neutro de la viga combinada se encuentra a una distancia c<sub>1</sub> del borde inferior de la sección 1 y a una distancia c<sub>2</sub> del borde superior de la sección 2 y 3.

El área total de la sección compuesta es de 68.32 cm<sup>2</sup>. Con la finalidad de calcular c<sub>1</sub> y c<sub>2</sub> se realiza una suma de momentos de las áreas de las secciones alrededor del borde superior con la Ecuación 20

Entonces se tiene:

$$\Sigma Ac_1 = A_1d_1 + A_2d_2 + A_3d_3 \quad [\text{Ec:21}]$$

Donde:

$d$  = distancia de la sección neutral de cada viga al borde inferior

Entonces:

$$68.32c_1 = 42.72(1.2) + 12.80(7.40) + 12.80(7.40)$$

$$68.32c_1 = 51.26 + 94.72 + 94.72$$

$$c_1 = 3.52 \text{ cm}$$

Donde:

$c_1 + c_2$  = altura total de la sección combinada

$$c_1 + c_2 = 10.00 + 2.40$$

$$c_1 + c_2 = 12.40$$

Entonces:

$$c_2 = 12.40 - c_1$$

$$c_2 = 12.40 - 3.52$$

$$c_2 = 8.88 \text{ cm}$$

Ahora se continúa a calcular el segundo momento del área de la sección combinada respecto a su eje centroidal.

El teorema señala con la Ecuación 21 que

$$I_z = I_{cg} + Ad^2 \quad [\text{Ec:22}]$$

donde:

$I_{cg}$  = segundo momento del área transversal con respecto a su eje centroidal.

Para el rectángulo inferior, la distancia es de:

$$d_1 = c_1 - 1.20$$

$$d_1 = 3.52 - 1.20$$

$$d_1 = 2.32$$

Para el rectángulo superior, la distancia es de

$$d_2 = c_2 - 5.0$$

$$d_2 = 8.88 - 5.0$$

$$d_2 = 3.88$$

Ahora, aplicando el teorema mencionado con la Ecuación 22, tenemos que

$$I_z = I_{c_1} + Ad_1^2 + I_{c_2} + Ad_2^2 + I_{c_3} + Ad_3^2$$

$$I_z = 20.5 + 229.8 + 106.6 + 192.6 + 106.6 + 192.6$$

$$I_z = 848.7 \text{ cm}^4$$

Siguiendo con el cálculo del módulo de Sección (S) para la viga combinada, tenemos con la Ecuación 23 que:

$$S = I_z/c_2 \quad [\text{Ec:23}]$$

La fórmula anterior considera el uso de  $c_2$  porque es la distancia mayor con la finalidad que la S tenga el menor valor, caso contrario de haber tomado  $c_1$  que es menor a  $c_2$ .

$$S = 848.7 \text{ cm}^4/8.88 \text{ cm}$$

$$S = 95.57 \text{ cm}^3$$

Teniendo S ahora se puede calcular el  $\sigma$  máximo flexión sobre la viga combinada con la Ecuación 19 como sigue:

A continuación es necesario asegurar que el material de la viga puede soportar la fuerza externa con un factor de seguridad.

El material es de acero de bajo carbono 1010 AISI con una resistencia a la cedencia de  $4792 \text{ kg/cm}^2$ .

Ahora que se tiene el esfuerzo máximo interno que soportará la viga y la resistencia que puede soportar el material de la viga antes de deformarse, es posible estimar el factor de seguridad al usar la viga con las dimensiones mencionadas con la Ecuación 2.

$$FS = \sigma_{ced} / \sigma_{m\acute{a}x}$$

$$FS = 4,792 / 3,326$$

$$FS = 1.44$$

El factor FS obtenido es positivo para la investigación, sin embargo se puede mejorar para futuras construcciones.

### 3.1.3.2 La columna

La columna es un componente importante de la prensa extractora ya que al fallar puede ocasionar daños materiales y humanos. Este elemento tiene el riesgo de pandearse si la columna es esbelta, es decir que el largo sea grande en relación al ancho (Timoshenko, 1997).

La columna a utilizar tiene las siguientes medidas en centímetros :

$$\text{Largo} = 116.0$$

$$\text{Ancho} = 17.8$$

$$\text{Espesor} = 2.4$$

El esfuerzo crítico por pandeo ( $\sigma_{cr}$ ) se obtiene con la Ecuación 5

$$\sigma_{cr} = P_{cr} / A = (\pi^2 E) / (KL/r)^2$$

Donde, E = Módulo de elasticidad a la tensión (kg/cm<sup>2</sup>)

K = Coeficiente llamado “factor de longitud efectiva”

L/r = Relación de esbeltez de la columna

La columna se encuentra soldada a las vigas por lo que está doblemente empotrada siendo K=0.5 (Timoshenko, 1997).

La relación de esbeltez ( $L/r$ ) se calcula considerando la longitud de la columna y su radio de giro ( $r$ ) con la Ecuación 6.

$$r = \sqrt{I/A}$$

Donde,  $I$  = Momento de inercia del eje transversal

$A$  = Área transversal a la columna

El momento de inercia ( $I$ ) de una sección transversal de forma rectangular como la columna del prototipo se calcula con la Ecuación 7

$$I = (b h^3)/12$$

La columna tiene dos perfiles, ambos se presentan a continuación con la finalidad de compararlos y definir el más crítico.

Perfil 1

donde:  $b = 2.4$  cm

$h = 17.8$  cm

En la *Figura 22* se observa el perfil de la columna considerando a la altura como la parte más grande.



Fuente: adaptado de Timoshenko, 1997

*Figura 22. Dibujo del perfil 1 de columna.*

El momento de inercia calculado con las medidas mencionadas en la Ecuación 7 es

$$I = (2.4)(17.8)^3/12$$

$$I = 1128 \text{ cm}^4$$

El área transversal se obtiene

$$A = b h$$

$$A = 17.8 * 2.4$$

$$A = 42.7 \text{ cm}^2$$

El radio mínimo de giro se determina con la Ecuación 6

$$r = \sqrt{I/A}$$

$$r = \sqrt{(1128 \text{ cm}^4/42.7 \text{ cm}^2)}$$

$$r = 5.13 \text{ cm}$$

La relación de esbeltez de la columna utilizando el perfil 1 se determina con la Ecuación 23

$$\text{Relación de esbeltez} = L/r \quad [\text{Ec:23}]$$

$$L/r = 116 \text{ cm}/5.13 \text{ cm}$$

$$L/r = 22.61$$

Ahora se calcula la relación de esbeltez para el perfil 2,

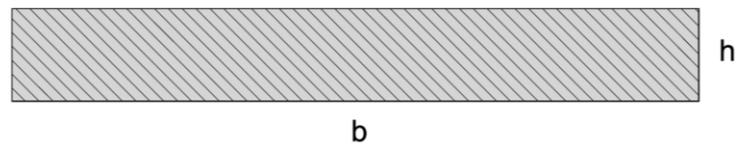
Perfil 2

Donde:

$$b = 17.8 \text{ cm}$$

$$h = 2.4 \text{ cm}$$

En la *Figura 23* se muestra el perfil de la columna considerando a la base como la parte más grande.



Fuente: adaptado de Timoshenko, 1997

*Figura 23. Dibujo del perfil 2 de la columna.*

El momento de inercia calculado con las medidas mencionadas se determina con la Ecuación 7

$$I = (17.8)(2.4)^3/12$$

$$I = 20.5 \text{ cm}^4$$

El área transversal es la misma,

$$A = b h$$

$$A = 17.8(2.4)$$

$$A = 42.7 \text{ cm}^2$$

El radio mínimo de giro :

$$r = \sqrt{I/A}$$

$$r = \sqrt{(20.5 \text{ cm}^4/42.7 \text{ cm}^2)}$$

$$r = 0.69 \text{ cm}$$

La relación de esbeltez de la columna utilizando el perfil 2 se obtiene con la Ecuación 23

$$L/r = 116 \text{ cm}/0.69 \text{ cm}$$

$$L/r = 168.11$$

En resumen, la relación de esbeltez de la columna es mayor en el perfil 2 cuyo momento de inercia es más débil, esto significa que la columna fallaría primero en ese eje cuya base es 17.8 y altura 2.4 cm.

El empleo de la relación de esbeltez,  $L/r = 168.11$ , en el cálculo del  $\sigma_{cr}$  es importante por considerar el escenario más crítico. En cambio el perfil 1 con la relación de esbeltez,  $L/r = 22.61$  permitiría un  $\sigma_{cr}$  mayor por ser un elemento a compresión, sin embargo la columna fallaría por el perfil 2.

En los aceros de bajo carbono tenemos que  $E = 2.11 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  y el esfuerzo límite de proporcionalidad,  $\sigma_{pl} = 2,530 \text{ kg/cm}^2$ .

Con los datos calculados y los anteriores podemos determinar el esfuerzo crítico de pandeo para la columna con la Ecuación 5 y así compararlo con la carga real ejercida.

$$\begin{aligned}\sigma_{cr} &= P_{cr}/A = (\pi^2 E)/(KL/r)^2 \\ \sigma_{cr} &= (\pi^2)(2.11 \times 10^6)/[(0.5)(168.11)]^2 \\ \sigma_{cr} &= 2,947 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

El material de la columna es de acero de bajo carbono 1010 AISI con una resistencia a la cedencia de  $4,792 \text{ kg/cm}^2$ .

Después de haber calculado el  $\sigma_{cr}$  se puede determinar el factor de seguridad con la Ecuación 2

$$\begin{aligned}FS &= \sigma_{ced}/\sigma_{cr} \\ FS &= 4,792/2,947 \\ FS &= 1.62\end{aligned}$$

El valor de FS de la columna es positivo para la carga aplicada, ahora se continúa con el diseño de las uniones por soldadura.

### 3.1.3.3 La unión soldada

Las vigas y columnas se unen por soldadura lo cual favorece la capacidad de soportar esfuerzos pues se forma un doble empotramiento. El tipo de soldadura es por arco ya que es común e importante en la industria (Deutschman, 1999).

La estructura se encuentra unida mediante soldaduras de acero 7018, cuya capacidad de carga es de 4,930 kg/cm<sup>2</sup>.

La soldadura está formada por un cordón de 10 mm de espesor y 178 mm de largo.

Con la finalidad de calcular el esfuerzo ( $\sigma_s$ ) que soporta cada soldadura haremos el siguiente análisis con la Ecuación 5

$$\sigma_s = P/A$$

donde: P = fuerza aplicada en cada extremo

A = Área de las soldaduras transversales a la fuerza aplicada

entonces,

$$P = 35,000 \text{ kg}$$

$$A = 2 (1\text{cm})17.8 \text{ cm}$$

$$A = 35.6 \text{ cm}^2$$

sustituyendo:

$$\sigma_s = 35,000 \text{ kg} / 35.6 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_s = 983 \text{ kg /cm}^2$$

En relación a los cálculos anteriores podemos obtener el factor FS como sigue,

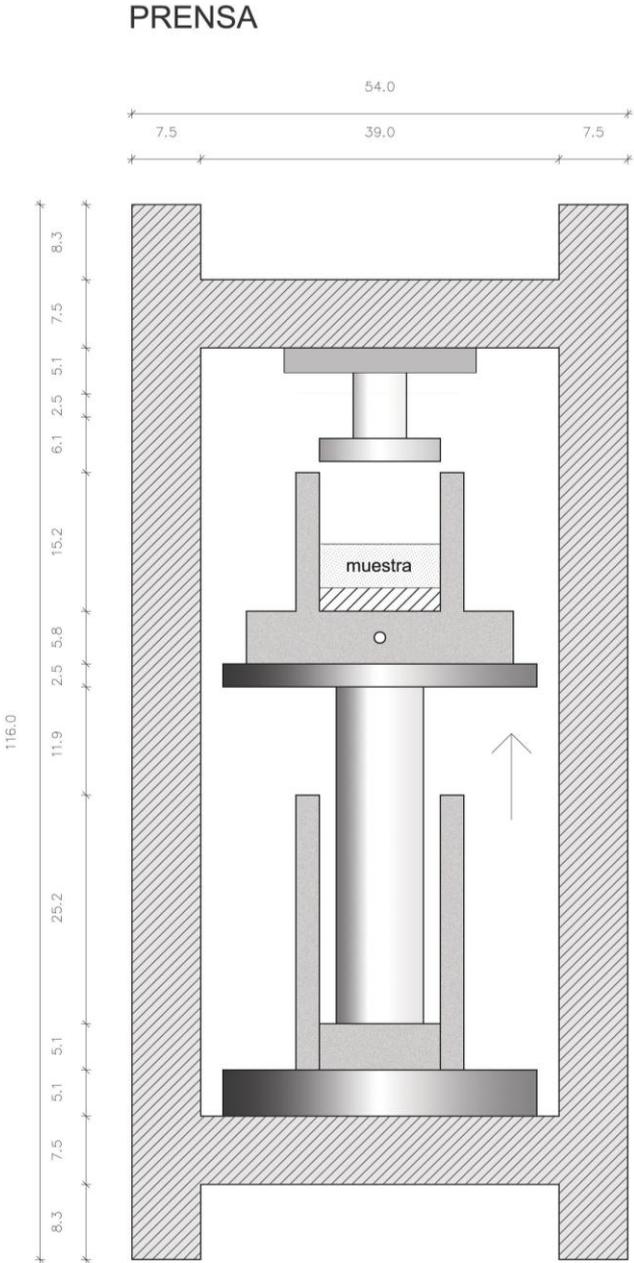
$$FS = \sigma_d/\sigma_s$$

$$FS = 4,930/ 983$$

$$FS = 5.0$$

El factor de seguridad excede la carga máxima aplicada en cinco veces, por lo que se considera positivo.

La *Figura 24* presenta la prensa, ahí se observa que el cilindro actuador eleva al vaso a un punto que el pistón superior empotrado se encuentra adentro del vaso e inicia la presión a la muestra.



Fuente: adaptado de Bailey, 1984

Figura 24. Dibujo de la prensa.

### 3.1.4 El sistema oleohidráulico

Los cálculos del sistema hidráulico u oleohidráulico se presentan en dos secciones: la primera es el cilindro actuador y la segunda son las bombas de presión.

El sistema oleohidráulico está calculado para ejercer una fuerza de 70,000 kg. Los cálculos siguientes explican el desarrollo de dicha fuerza.

La presión máxima a ejercer sobre la pasta de cacao, contenida en un vaso cuyo diámetro es de 13.20 cm, es 500 kg/cm<sup>2</sup>. La ecuación 5 puede utilizarse si despejamos la fuerza

$$P = F/A$$

Despejando F, tenemos:

$$F = P(A)$$

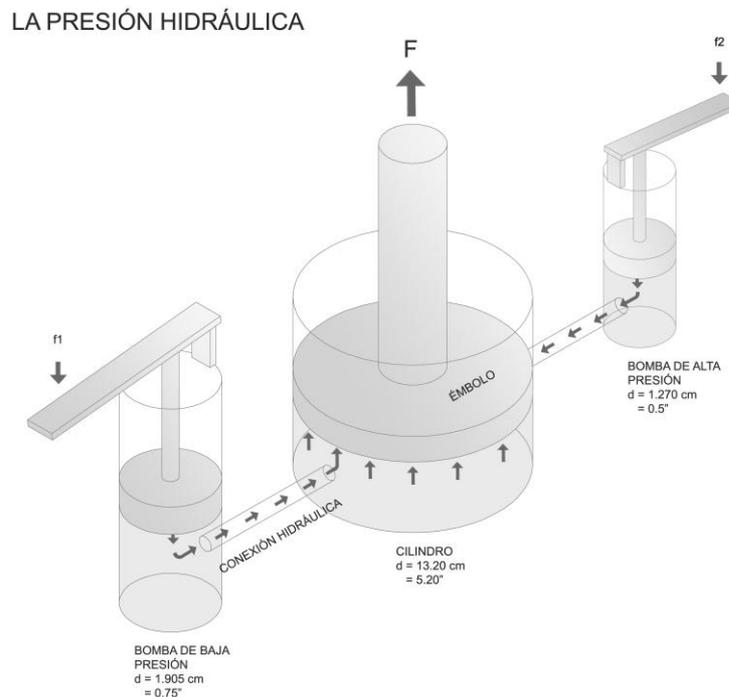
Sustituyendo valores, tenemos:

$$F = 500 \text{ kg/cm}^2 (4\pi)(13.2)^2 \text{ cm}^2$$

$$F = 68,422.2 \text{ kg}$$

La fuerza a ejercer sobre el cilindro es de aproximadamente 70,000 kg

En la *Figura 25* se muestra una transmisión manual de energía oleohidráulica.



Fuente: adaptado de Serrano, 2002

*Figura 25. Dibujo de un sistema oleohidráulico manual.*

### 3.1.4.1 El cilindro

El cilindro es el componente del sistema oleohidráulico que ejerce el trabajo. El radio se determinó sea igual al radio del vaso (6.6 cm) con la finalidad que el manómetro que mide la presión del aceite en el cilindro actuador se pueda interpretar también como la presión ejercida sobre el licor de cacao contenido en el vaso.

El cilindro, así como el vaso, se considera de pared gruesa debido a la presión alta que soporta. El cálculo del espesor considera también la teoría del esfuerzo cortante máximo ya que considera los esfuerzos máximos y mínimos (Serrano, 2002).

El material usado para construir el cilindro es acero AISI 1040 rolado en frío con capacidad de resistir a la cedencia  $6,000 \text{ kg/cm}^2$ . El FS empleado es de 2.0 por lo que el esfuerzo permisible es  $3,000 \text{ kg/cm}^2$ .

Obtenido el esfuerzo máximo permisible, se continúa con el cálculo del espesor del cilindro empleando la teoría del esfuerzo cortante de la Ecuación 9,

$$\sigma_{ced}/FS = \sigma_1 - \sigma_3$$

Utilizando la Ecuación 10 y 11 se puede sustituir  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ .

$$\sigma_{ced}/FS = P(R^2 + r^2)/(R^2 - r^2) + P$$

Sustituyendo valores a la ecuación, se tiene

$$3,000 = 500(R^2 + 6.6^2)/(R^2 - 6.6^2) + 500$$

Resolviendo la ecuación para R, se tiene

$$3,000 - 500 = 500(R^2 + 6.6^2)/(R^2 - 6.6^2)$$

$$2,500/500 = (R^2 + 6.6^2)/(R^2 - 6.6^2)$$

$$5(R^2 - 6.6^2) = (R^2 + 6.6^2)$$

$$5R^2 - 217.8 = R^2 + 43.56$$

$$4R^2 = 261.3$$

$$R^2 = 65.3$$

$$R = \sqrt{65.3}$$

$$R = 8.1 \text{ cm}$$

El dato obtenido, R, significa el radio exterior del cilindro. Ahora, el valor del espesor se determina mediante la Ecuación 13

$$e = R - r$$

$$e = 8.1 - 6.6$$

$$e = 1.5 \text{ cm}$$

El valor del espesor empleado para el cilindro del sistema oleohidráulico es de 1.5 cm.

El espesor es mayor al 10% del diámetro interior del cilindro, indicador que el cilindro es de pared gruesa (Serrano, 2002), el cálculo es,

$$1.5 > 13.2 (10\%)$$

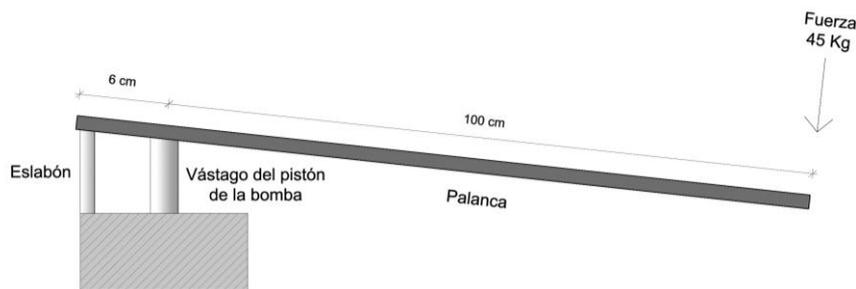
$$1.5 > 1.32$$

El diseño del cilindro presenta un FS equivalente a 2 el cuál es positivo para el uso del equipo. A continuación se presenta los cálculos para el diseño de las bombas de presión.

### 3.1.4.2 Las bombas

Las bombas construidas son del tipo manual. El uso consiste en ejercer una fuerza muscular sobre una palanca; la fuerza aumenta significativamente y se transmite a las bombas. En esta sección se presentan los cálculos que sustentan la capacidad del sistema oleohidráulico construido para aplicar una fuerza de casi 70,000 kg.

La palanca está articulada al vástago del pistón de la bomba y tiene un eslabón que ayuda a mantener el equilibrio y a multiplicar la fuerza. La *Figura 26* siguiente la presenta.



Fuente: adaptado de Serrano, 2002

*Figura 26. Dibujo de la palanca articulada y la fuerza aplicada.*

La fuerza muscular aplicada puede variar, en continuación se presentan los cálculos de presión a partir de una fuerza de 40 kg en el extremo de la palanca. Esta fuerza genera una fuerza mayor en el extremo opuesto, el cálculo para determinar la fuerza aplicada al eslabón cercano al vástago del pistón ( $F_A$ ) es haciendo una sumatoria de momentos en el vástago

$$\sum \text{Momentos vástago} = 0$$

$$40 \text{ Kg} (100 \text{ cm}) = F_A (6 \text{ cm})$$

$$4,000 \text{ Kgcm} = 6 F_A \text{ cm}$$

$$F_A = 4,000/6$$

$$F_A = 666 \text{ Kg}$$

La fuerza  $F_A$  genera presiones distintas en las bombas, su cálculo se muestran a continuación

Los diámetros de los pistones que forman las bombas manuales son las que siguen,

$$\text{Bomba de baja presión: } \frac{3}{4} \text{ pulg} = 1.905 \text{ cm}$$

$$\text{Bomba de alta presión: } \frac{1}{2} \text{ pulg} = 1.270 \text{ cm}$$

Las áreas de cada pistón se calcula,

Bomba de baja presión

$$A = \pi(1.905)^2/4$$

$$A = 2.85 \text{ cm}^2$$

Bomba de alta presión

$$A = \pi(1.27)^2/4$$

$$A = 1.27 \text{ cm}^2$$

El cálculo de las presiones en cada bomba es como sigue,

La presión es la fuerza por unidad de área, la fuerza es perpendicular a la superficie y su ecuación es,

$$P = F/A$$

Donde  $P = \text{Presión en Kg/cm}^2$

$F = \text{Fuerza aplicada sobre el pistón en Kg}$

$A = \text{Área del pistón de cada bomba en cm}^2$

entonces, la presión para cada bomba es,

Bomba de baja presión

$$P = F/A$$

$$P = 666/2.85$$

$$P = 232 \text{ Kg/cm}^2$$

Bomba de alta presión

$$P = F/A$$

$$P = 666/1.27$$

$$P = 524 \text{ Kg/cm}^2$$

Como se observa, la bomba de baja presión no llega a la demanda requerida pero tiene la función de elevar más rápido el émbolo del cilindro actuador ya que su caudal de aceite es mayor puesto que tiene un pistón con una mayor área que el de la bomba de alta presión.

La bomba de alta presión satisface la demanda de presión pero se utiliza una vez que el émbolo del vaso comprime al cacao al menos en  $100 \text{ kg/cm}^2$  con la bomba de baja presión.

En realidad la presión ejercida al cacao es variable según el usuario del equipo, es decir una persona puede sobre pasar la presión que se demanda si ejerce una fuerza mayor a los 40 kg sobre la palanca o viceversa, una persona podría no llegar si ejerce una fuerza inferior a los 40 kg.

Esta variabilidad se mide con el manómetro. En el equipo está colocado un manómetro a la salida de las bombas y de esa manera estamos midiendo la presión del aceite en el interior del cilindro actuador.

El cilindro actuador al irse llenando de aceite provoca que su émbolo suba con una fuerza. Esta fuerza depende de la resistencia que se opone, el cálculo siguiente de la fuerza del émbolo corresponde cuando la muestra de cacao opone resistencia.

$$\text{Fuerza del émbolo} = \text{Presión del aceite} (\text{Área del cilindro})$$

$$\text{Fuerza del émbolo} = 500 \text{ Kg/cm}^2 (\pi)(6.6 \text{ cm})^2$$

$$\text{Fuerza del émbolo} = 68,422 \text{ kg}$$

El émbolo sube pero si no encuentra resistencia no se indica ninguna presión en el manómetro. La única resistencia al subir es el peso del vaso y su base, sin embargo

el instrumento de medición no lo registra porque mide de 0 a 700 kg/cm<sup>2</sup> con división de 10 kg/cm<sup>2</sup>. Una presión inferior a los 10 kg/cm<sup>2</sup> podrá medirse con un manómetro de menor escala y más precisión.

El manómetro empezará a indicar la presión cuando el cacao contenido en el vaso inicia a tener contacto con el émbolo empotrado a la viga, pues sólo así se ejerce resistencia a la fuerza del émbolo del cilindro actuador.

La presión que señala la literatura es posible obtenerla mediante las bombas cuyo diámetro y presión se calcularon. Ahora se continúa con el diseño del filtro-prensa.

### **3.1.5 El filtro-prensa**

El filtro-prensa es el último componente relevante del prototipo. En este elemento se clarifica y eliminan las partículas sólidas suspendidas en la grasa extraída mediante un filtro de papel.

El diseño del filtro-prensa sigue el mismo principio de transferencia de calor que el tanque agitador, el radio es mucho menor al largo. Las medidas no son las mismas por dos razones, la primera porque el volumen de grasa es inferior al volumen de la pasta que se agita en el tanque y la segunda porque en el mercado se encontró un cilindro de acero inoxidable de las medidas,

$$\text{Radio exterior} = 8.89 \text{ cm}$$

$$\text{Largo} = 30.48 \text{ cm}$$

$$r/L = 29\%$$

El material es de acero inoxidable calibre 14. El calor de las paredes se transmite por convección natural para mantener derretida la grasa por medio de una resistencia de 500 Watts para un voltaje de 110 Volts. El filtro está formado por: una placa, un filtro papel y una lámina. La placa es de acero de ¼ pulgada de espesor, diámetro 8.4 cm, barrenos de 5/32 pulgada de diámetro. El filtro de papel es a base de celulosa y recortado con la forma del cilindro. La lámina es calibre 24 de 8.4 cm de diámetro y barrenos de 5/32 de pulgada de diámetro.

El área de intercambio de calor ( $A_r$ ) en el cilindro es:

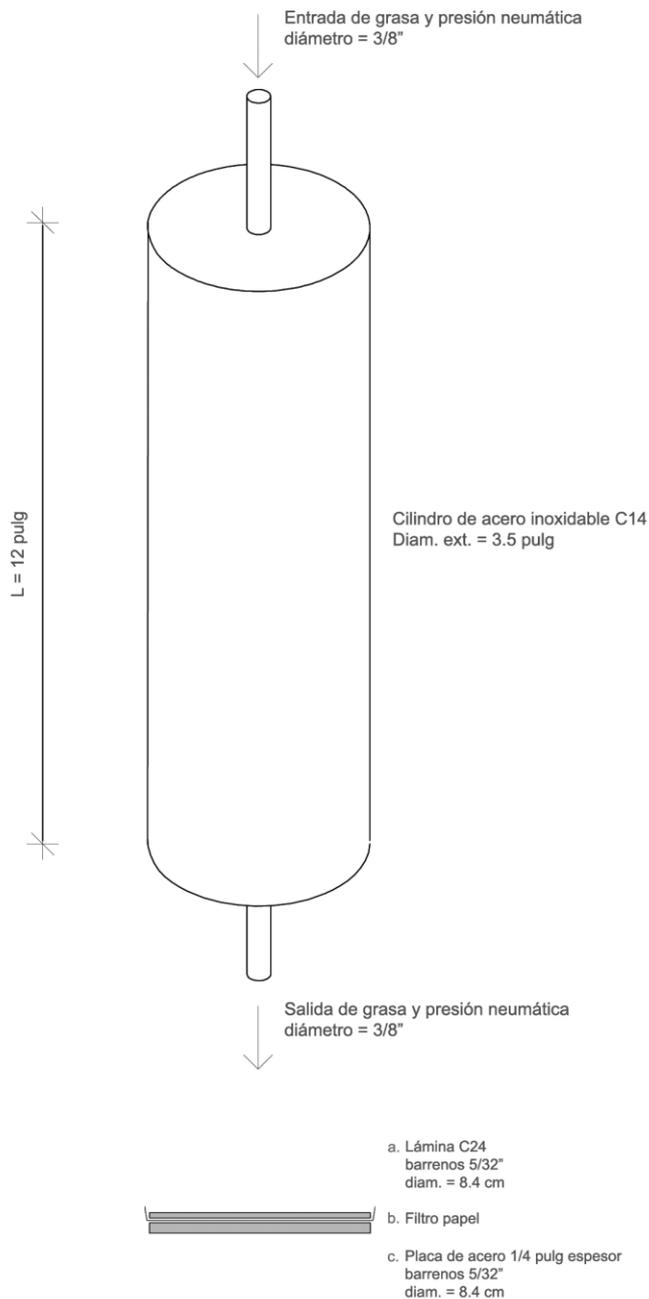
$$A_r = 2\pi rL$$

$$A_r = 2\pi(8.89)(30.48)$$

$$A_r = 1,702.5 \text{ cm}^2$$

En el filtro-prensa no se controló electrónicamente la temperatura. La *Figura 27* corresponde al diseño del filtro-prensa

#### FILTRO - PRENSA



Fuente: elaboración propia

*Figura 27. Dibujo del filtro-prensa.*

El filtro-prensa es el último componente del equipo diseñado.

### 3.2 Hipótesis

La investigación tiene como hipótesis general que la construcción de un prototipo que separe la grasa del cacao a una escala pequeña es posible.

La investigación tiene como primera hipótesis específica que el prototipo construido puede extraer al menos el 85 % del contenido de grasa total a una presión de 500 kg/cm<sup>2</sup>.

La investigación tiene como segunda hipótesis específica que el prototipo construido puede extraer al menos el 75 % del contenido de grasa total a una presión inferior a los 500 kg/cm<sup>2</sup>.

La hipótesis general se aceptará si el prototipo a escala pequeña es construido. Sin embargo, las hipótesis secundarias serán aceptadas o rechazadas mediante el resultado de un análisis estadístico de las pruebas experimentales.

La evaluación consiste en realizar un diseño experimental para después analizar los resultados (grasa extraída por muestra) utilizando la estadística, determinando primero si existe una diferencia entre los resultados. En caso de haberla, entonces el segundo paso será determinar los resultados que son diferentes.

La primera hipótesis específica se aceptará si el promedio de alguna prueba utilizando 500 kg/cm<sup>2</sup> de presión tiene un porcentaje de extracción de grasa superior al 85 % de la grasa total contenida en la muestra. La segunda hipótesis específica se aceptará si existe al menos el promedio de alguna prueba cuya presión sea inferior a 500 kg/cm<sup>2</sup> resulte una extracción de grasa superior al 75 % de la grasa total contenida en la muestra.

### 3.3 Muestreo y análisis estadístico

El método utilizado para realizar las pruebas al equipo se basó en tres puntos. El primero, conseguir en Tabasco 23 kg de **cacao fermentado, tostado y sin cáscara**

o también llamada **almendra**, el segundo punto fue conocer el contenido de esos granos mediante el análisis de laboratorio y el tercero fue realizar un diseño de análisis de experimentos.

La experimentación se diseñó considerando que las unidades a probar son homogéneas ya que el análisis de contenido de grasa en los granos como en la cocoa coincide con el resultado de pruebas preliminares de extracción con la prensa construida, además se sabe que el grano procede de un mismo productor o lote.

El diseño experimental que se eligió es el diseño completamente al azar ya que con él podemos realizar diversas repeticiones por tratamiento. Sin embargo, se sabe que el error experimental de las pruebas calificarán si la elección por el diseño completamente al azar es adecuada pues con un cuadrado medio del error grande es difícil rechazar la hipótesis de igualdad de tratamientos (Montgomery, 2009).

Durante el desarrollo de las pruebas previas al equipo se observó la importancia de algunos factores como: la presión ejercida, el tiempo de drenaje y el tiempo de agitación a temperatura de 95 °C. Los dos primeros factores se decidió tomarlos como variables y el último como una constante con una duración 60 minutos.

Los tratamientos son una combinación de los dos primeros factores. La presión se probó con 4 diferentes niveles y el tiempo de drenaje con 3 niveles. El tratamiento es la combinación de ambos factores siendo un total de 12 tratamientos por repetición. Las repeticiones por cada tratamiento son tres siendo un total de 36 muestras o pruebas realizadas.

Las presiones probadas son:

150, 250, 375, 500 (kg/cm<sup>2</sup>)

Los tiempos de drenaje utilizados son:

30, 45 y 60 (minutos)

El modelo del diseño es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 12$$

$$j = 1, 2, 3$$

Donde :

$Y_{ij}$  = la observación del tratamiento  $i$  en la repetición  $j$ .

$\mu$  = el efecto verdadero de la media general.

$\tau_i$  = el efecto de  $i$ -ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  = el error experimental.

Bajo el supuesto que los errores ( $\varepsilon_{ij}$ ) se distribuyen normal e independiente con media cero y varianza igual a  $\sigma^2$  (Montgomery, 2009).

La unidad a evaluar en las pruebas es la grasa extraída en unidades experimentales del mismo tamaño, es decir 500 gr de licor de cacao.

La cantidad de grasa en las almendras es posible saberlo mediante el análisis del contenido de grasas en el laboratorio.

El análisis se realizó en el laboratorio industrial Roca, ubicado en la calle Pegaso no. 182 de la colonia Contry en Monterrey, Nuevo León. El método utilizado es la extracción Soxhlet, método oficial de AOAC (organización que por sus siglas en inglés significa Asociación Oficial de Análisis Químicos) y el reglamentado por la Norma Mexicana NMX-F-089 para la determinación de extracto etéreo en alimentos. Al laboratorio citado se le llevó una muestra de cacao tostado sin cáscara, el cual resultó contener 45.92 % de grasa respecto a su peso en base seca.

El resultado obtenido nos permite calcular la grasa que contiene el cacao en la unidad experimental con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso grasa total en vaso} = 45.92/100 (\text{peso licor de cacao en el vaso}).$$

La unidad experimental pesa 500 gr la cual contiene:

$$\text{Peso grasa total en vaso} = 45.92/100 (500)$$

$$= 230 \text{ gr}$$

## 4. Resultados

Los resultados de la investigación se presentan en tres secciones que son: datos técnicos de la prensa, proceso de extracción de grasa y prueba de hipótesis. Se inicia a continuación con la primera parte.

### 4.1 Datos técnicos de la prensa

La prensa para extraer grasa se compone de los siguientes elementos importantes: El tanque agitador, el vaso, la viga, las columnas, el sistema oleohidráulico y el filtro-prensa. A continuación se presentan los datos técnicos de cada componente.

El tanque agitador: capacidad 3 litros, motor de  $\frac{1}{2}$  hp y 1,700 rpm, cilindro de acero bajo carbono con medidas: radio=5.7 cm, altura=30 cm, resistencia eléctrica 500 Watts para 110 Volts, termopar, temperatura 95 °C.

El vaso: capacidad 1.5 litros, radio interior 6.6 cm, espesor pared gruesa 1.78 cm, acero bajo carbono AISI 1040 rolado en frío con resistencia a cedencia de 6,000 kg/cm<sup>2</sup>, FS= 2.27, resistencia eléctrica 500 Watts para 110 Volts, termopar, temperatura 95 °C. Al fondo del vaso se coloca: placa acero bajo carbono barrenada sujetando malla metálica mesh 110.

La viga: sección combinada de tres perfiles tipo U con las medidas (cm): 1) base=17.8, alto= 2.4; 2) base=1.28, alto=10.0; 3) base=1.28, alto=10.0. Material acero bajo carbono 1010 AISI con resistencia a cedencia de 4,792 kg/cm<sup>2</sup>, FS=1.44.

Las columnas: perfil de base= 17.8 cm, alto= 2.40 cm, acero bajo carbono 1010 AISI con resistencia a cedencia de 4,792 kg/cm<sup>2</sup>, FS= 1.62.

El sistema oleohidráulico; cilindro actuador: radio interior=6.6, espesor pared gruesa 1.50 cm, acero bajo carbono AISI 1040 rolado en frío con resistencia a cedencia de 6,000 kg/cm<sup>2</sup>, FS= 2.0. Las bombas; baja presión de pistón con radio=0.95cm; alta presión de pistón con radio=0.63 cm.

El filtro-prensa utiliza presión neumática 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, sus componentes son con las medidas (pulg): un cilindro acero inoxidable calibre 14 con radio exterior= 3  $\frac{1}{2}$  ,

largo= 12, entrada y salida de  $\frac{3}{8}$  de diámetro; una placa barrenada de  $\frac{1}{4}$  de espesor, diámetro  $3\frac{5}{16}$ , barrenos de  $\frac{5}{32}$  diámetro, un filtro papel a base de celulosa y una lámina calibre 24, diámetro  $3\frac{5}{16}$  y barrenos de  $\frac{5}{32}$ .

## 4.2 Proceso de extracción de grasa

El proceso y tiempos de extracción de grasa para una muestra de 500 gramos, a una presión de  $150\text{ kg/cm}^2$  durante 60 minutos de prensado es el siguiente:

- 1.- 20 minutos antes de procesar el primer cacao del día se encienden las resistencias eléctricas del tanque agitador.
- 2.- Descascarillado fino: se toma alrededor de 570 gramos de cacao fermentado, tostado y descascarillado grueso, se colocan en un recipiente de 1 L y con una secadora de cabello se va separando la corteza (tiempo 3 minutos)
- 3.- Molido: se vacía el cacao recién descascarillado en la entrada del molino de granos manual, se ejerce fuerza en la manivela del molino hasta terminar (tiempo 3 minutos).
- 4.- Agitado: se vacía el cacao recién molido en la entrada del tanque agitador y se enciende el motor que inicia el agitado (tiempo 60 minutos).
- 5.- 20 minutos antes de terminar el agitado, se encienden las resistencias eléctricas del vaso. Se asegura que la placa barrenada con el filtro metálico está adentro, también que la placa barrenada con el papel está colocado en el fondo del filtro-prensa y se coloca un recipiente a la salida del filtro-prensa.
- 6.- Recarga del tanque de agitación: antes de iniciar el proceso de prensado se recomienda tomar cacao molido y vaciarlo al tanque de agitación.
- 7.- Prensado: se abre la válvula de salida del agitador y se vierte el licor de cacao en el vaso mediante un ducto. Se coloca la palanca en la bomba de baja presión, se cierra una válvula de aceite entre el tanque de aceite y el cilindro actuador, se inicia a ejercer fuerza muscular a un ritmo lento sobre la palanca hasta llegar a la presión de  $150\text{ kg/cm}^2$ . Se calienta los ductos entre la prensa y el filtro-prensa con un gas

butano en tres ocasiones, al inicio, a los 30 minutos y al final del prensado. Durante el tiempo de prensado se ejerce presión neumática sobre los mismo ductos mediante una bomba manual en tres ocasiones, al inicio, a los 30 minutos y al final del prensado (tiempo 70 minutos).

8.- Limpieza: se cambia el filtro de papel cada cinco veces de uso, se remueve después del prensado la placa barrenada con la malla metálica y se separa la cocoa (tiempo 20 minutos).

Se recomienda descascarillar fino y moler el cacao a usar en el día antes de iniciar el proceso de agitado y prensado para que las recargas sean rápidas.

El descascarillar fino el cacao es importante para maximizar la extracción de grasa ya que las almendras son las que contienen grasa en 50-55 % de su peso y las cortezas puede mermar la eficiencia.

Se mencionan algunos cuidados adicionales para evitar riesgos innecesarios:

Utilice guantes de tela gruesa para el manejo de la prensa y evitar quemaduras.

Asegurarse de colocar la placa barrenada con la malla metálica una vez removida la cocoa y antes de iniciar el segundo prensado. En caso de no hacerlo y vaciar licor de cacao agitado en el vaso, se recomienda limpiar el vaso y los ductos con agua caliente pues el cacao solidificado es complicado removerlo.

Se recomienda utilizar un sistema hidráulico manual de capacidad 2,000 kg con una bomba para remover la placa barrenada con la cocoa después del prensado.

En Anexo A se presentan algunas fotografías durante el proceso de extracción de la grasa en las pruebas preliminares.

### **4.3 Prueba de hipótesis**

El análisis del experimento nos permitirá aceptar o rechazar la hipótesis de igualdad entre las medias y al mismo tiempo calificar el diseño elegido en base al cuadrado medio del error (Montgomery, 2009).

El Anexo B presenta los resultados de grasa y cocoa de las 35 pruebas realizadas durante la experimentación.

La hipótesis a probar es:

$$H_0: \zeta_1 = \zeta_2 = \dots = \zeta_{12} \text{ vs } H_a: \text{Al menos dos } \zeta \neq 0$$

Donde  $H_0$  = hipótesis nula que supone la igualdad de medias  
 $H_a$  = hipótesis alternativa que supone que al menos dos medias no son iguales.

La hipótesis se puede probar utilizando una tabla de análisis de varianza. A continuación el *Cuadro 6* muestra el análisis de varianza.

*Cuadro 6. Tabla de análisis de varianza.*

Tabla de análisis de varianza

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>F 0.05</i>	<i>F 0.01</i>
<i>Tratamientos</i>	11	10509	955.37	5.18	2.16	3.14
<i>Error</i>	23	4238	184.28			
<i>Total</i>	34					

En el *Cuadro 6* se observa que la  $F_c$  es mayor que la  $F$  tabulada para ambos niveles de significancia, por lo tanto la hipótesis nula ( $H_0$ ) se rechaza con una probabilidad de error tipo I menor que 0.01.

El rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ) significa que más de un tratamiento es diferente al resto de los demás pero sin saber cuál(es) son iguales y cuál(es) diferentes. Este resultado también significa que la varianza de los tratamientos no es tan alta ya que el cuadrado medio del error no fue lo suficientemente grande como para aceptar la hipótesis de igualdad y por consiguiente se puede asumir que el diseño elegido es adecuado.

Ahora que conocemos que las medias de los tratamientos no son todas iguales se requiere saber cuáles son diferentes, para conocer lo anterior es necesario realizar una comparación de medias. En la investigación utilizamos el método DMS, Diferencia de Medias Significativa (Montgomery, 2009).

El método DMS consiste primero en ordenar las medias de los tratamientos de mayor a menor como se muestra en *Cuadro 7*.

*Cuadro 7. Tabla de las medias de los tratamientos ordenadas de mayor a menor.*

Tratamiento		Promedio
i	ni	grasa extraída
12	3	212.00
11	2	208.50
9	3	200.67
10	3	200.33
7	3	187.33
8	3	180.67
5	3	180.00
6	3	178.33
4	3	175.67
2	3	166.33
3	3	162.33
1	3	154.67

El siguiente *Cuadro 8* presenta los resultados de la comparación de medias ordenadas de mayor a menor mediante la prueba DMS.

*Cuadro 8. Tabla del análisis de comparación de medias mediante la prueba DMS.*

Tratamiento						
kg/cm <sup>2</sup>	i	ni	grasa separada (gr) media	cocoa (gr) media	% Extracción	≠ζ
500 x 60	12	3	212.00	278.33	92.17%	a
500 x 45	11	2	208.50	277.50	90.65%	a
350 x 60	9	3	200.67	283.67	87.25%	a
500 x 30	10	3	200.33	289.33	87.10%	a
350 x 30	7	3	187.33	288.67	81.45%	b
350 x 45	8	3	180.67	302.33	78.55%	b
250 x 45	5	3	180.00	312.00	78.26%	b
250 x 60	6	3	178.33	305.00	77.54%	b
250 x 30	4	3	175.67	307.33	76.38%	b
150 x 45	2	3	166.33	324.00	72.32%	b
150 x 60	3	3	162.33	330.00	70.58%	c
150 x 30	1	3	154.67	327.67	67.25%	c

≠ ζ : diferencia de medias significativa al 0.05 en prueba DMS = letras diferentes

El porcentaje de extracción está calculado según los resultados del laboratorio mediante la siguiente ecuación

$$\% \text{ Extracción} = 100 (\text{Grasa separada media} / \text{Grasa total en 500 gr})$$

Ejemplo para el tratamiento 12:

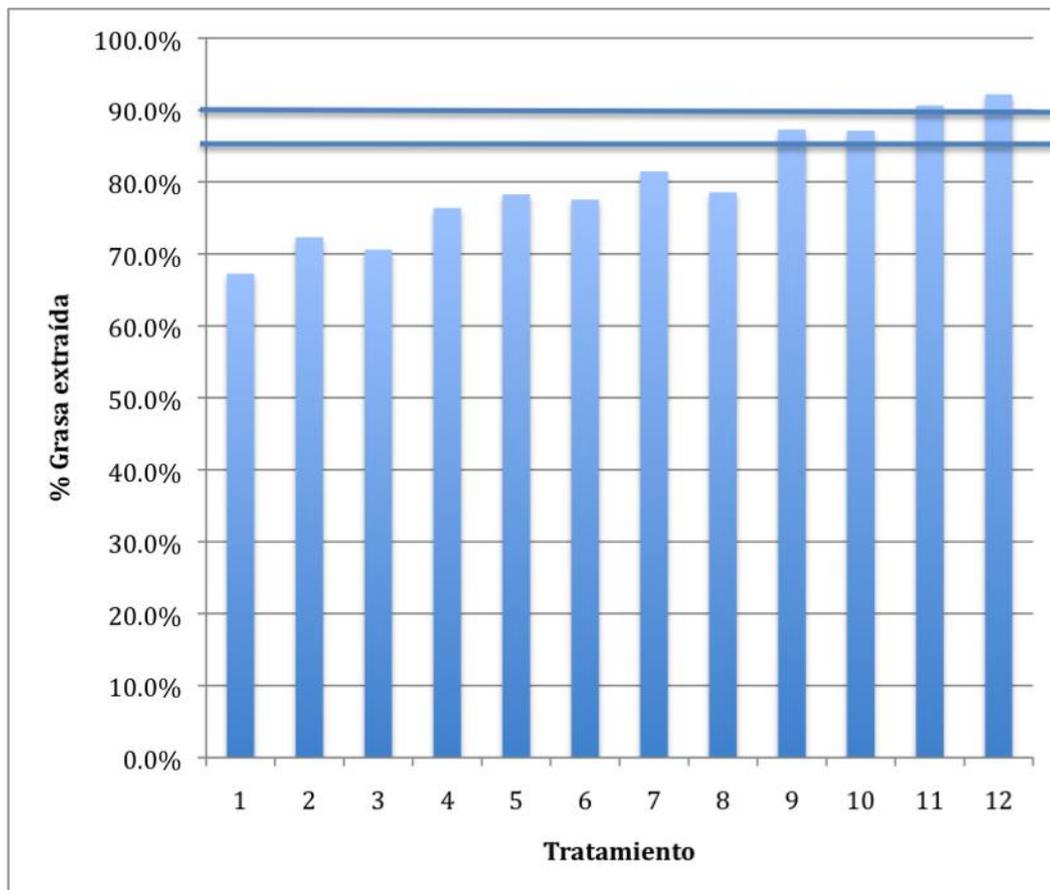
$$\begin{aligned} \% \text{ Extracción} &= 100 (212/230) \\ &= 92.17 \% \end{aligned}$$

En Anexo C se presentan imágenes de los subproductos resultantes de algunas pruebas durante la experimentación.

## 5. Discusión

Los resultados muestran una congruencia con los datos señalados en la literatura. El máximo de extracción de grasa valida el porcentaje presentado por la industria que es entre el 85 y 90 % (Yanes, 1994). Sin embargo los resultados obtenidos a presiones inferiores no se han encontrado en la literatura. La eficiencia máxima encontrada a presiones inferiores a las utilizadas por las fábricas ( $500 \text{ kg/cm}^2$ ) son significativas pues van del 72 al 87 % dependiendo del tratamiento. Este rango de eficiencia es compacto en contraste con el rango amplio de presión aplicada del 30 al 70 % (de  $150$  a  $350 \text{ kg/cm}^2$ , siendo el 100 % la presión de  $500 \text{ kg/cm}^2$ ).

La *Figura 28* presenta una gráfica del porcentaje de extracción de grasa por tratamiento



*Figura 28. Gráfica de extracción de grasa por tratamiento, donde 1 corresponde a: (150,30),2(150,45),3(150,60),4(250,30),5(250,45),6(250,60),7(350,30),8(350,45),9(350,60),10(500,30),11(500,45) y 12(500,60), cuyas unidades son ( $\text{kg/cm}^2$ , minutos). Las líneas señalan el rango industrial de extracción (85-90 %).*

En el *Cuadro 8* se observa el peso promedio de la cocoa residual de cada tratamiento. El peso de los productos intermedios de cada tratamiento es inferior al peso inicial del licor de cacao de 500 gr. La pérdida del peso o la merma se puede explicar por las siguientes partes del proceso.

Al vaciar el licor en el vaso se quedan gramos en los contenedores.

Se pierde grasa por el émbolo superior empotrado.

En el filtro malla metálico se retienen gramos de cocoa.

En los ductos que conectan la prensa y el filtro-prensa queda atrapada grasa.

Al separar la cocoa de la malla se pierden gramos de cocoa.

La media de la merma en el experimento fue casi el 3 %.

## **5.1 Factibilidad real de los usuarios**

En la revisión de literatura, Yanes (1994) analiza el proceso y los requerimientos técnicos para transformar el cacao en una escala industrial. En la actual investigación se cumplieron los requisitos técnicos planteados por Yanes (1994), se construyó y evaluó una máquina a escala pequeña. Los resultados obtenidos al evaluar este prototipo comprueba que es posible manufacturar equipos a la medida de pequeños productores de cacao o microempresarios del chocolate y obtener rendimientos similares a los industriales.

En la revisión de literatura, Vázquez (2007) analiza la productividad del cacao en Tabasco. En ese estudio se presentan estrategias para aumentar la competitividad de los productores de las cuales la agregación de valor es uno de los caminos propuestos. Se señala que para lograr transformar el grano en bienes intermedios se debe reactivar la molienda en INCATABSA o apoyar medidas para que los productores elaboren chocolate o las asociaciones fermentadoras presen y comercien productos intermedios. Los resultados obtenidos en esta investigación, la construcción del prototipo a escala del pequeño productor y la eficiencia obtenida

por esta máquina acercan la posibilidad de iniciar la estrategia planteada en el estudio de Vázquez (2007).

En la revisión de literatura se señalan limitantes de los productores de cacao para mejorar la productividad y competitividad. Los obstáculos que el estudio de Vázquez señala son la edad avanzada, la aversión de los jóvenes a realizar el cambio generacional y la escasa inversión pública en áreas como la comunicación e infraestructura de transportación y servicios públicos. Sin embargo, los resultados de la actual investigación se concentraron en la manufactura y evaluación de la tecnología para separar grasas de un prototipo para uso experimental. Las futuras investigaciones cuyos objetivos sean la transferencia de tecnología deberán considerar estas limitantes. La única restricción considerada por el presente estudio fue el uso de energía doméstica, energía cuyo voltaje se podrá encontrar en algunos hogares de los actuales productores en áreas rurales de Tabasco.

## **5.2 Consideraciones finales en la construcción de una prensa para pequeños productores.**

Con los resultados de esta investigación es posible obtener una prensa “hecha a la medida” del pequeño productor. A continuación las consideraciones técnicas para su construcción:

Las prensas no necesariamente tendrían que tener una capacidad de presión de 500 kg/cm<sup>2</sup> ya que una cocoa ligeramente desgrasada (22% de grasa) tendría mejor valor a la venta si consideramos que la grasa es el producto más valioso del cacao (Beckett, 2000).

Los controladores de temperatura a utilizar serían más sencillos que los empleados en la investigación, pues no contarían con pantalla digital y serían menos exactos.

El sistema oleohidráulico que se fabrique podría emplear menos material pues el cilindro actuador podría tener un diámetro muy inferior al utilizado. Además el espesor del cilindro también disminuiría al emplear una presión inferior.

Así mismo, el sistema hidráulico podría adquirirse en lugar de fabricarse pues se construyen en serie para ciertas capacidades de fuerza (utilizadas normalmente para sustituir el peso que sostiene una rueda de vehículo o camión cuando se cambia una llanta). Por ejemplo, un sistema oleohidráulico comercial de una sola bomba manual de 20 toneladas podría usarse para ejercer una presión de  $150 \text{ kg/cm}^2$  en el vaso del prototipo.

El manómetro podría omitirse ya que la presión de aceite no es un dato que contribuya al usuario de la prensa. El manómetro usado en la investigación fue útil porque el cilindro actuador tenía el mismo diámetro interior al vaso de la prensa pudiéndose interpretar así la presión de aceite como la presión sobre la muestra de cacao. Luego entonces, si los diámetros son diferentes entonces la presión de aceite no se podrá interpretar como la presión sobre el licor de cacao.

El espesor del vaso sería más delgado si la presión disminuye. Por ejemplo el espesor para una presión de  $150 \text{ kg/cm}^2$  utilizando el mismo material y el mismo factor de seguridad al prototipo construido sería de 0.37 cm, es decir 77 % menos que el espesor del prototipo.

Estas son algunas consideraciones técnicas que podrían traducirse en menores costos de fabricación en la construcción de una prensa para ejercer una presión inferior a los  $500 \text{ kg/cm}^2$ .

### **5.3 Ventajas y desventajas del prototipo**

El prototipo construido presenta algunos avances pero también ciertas áreas por mejorar. A continuación se describen algunas de ellas.

Las ventajas principales de este prototipo son: mide la presión, controla y mide la temperatura, ejerce una presión de hasta  $500 \text{ kg/cm}^2$ , los procesos de molido, agitado y filtro-prensado están integrados a la prensa.

Las desventajas principales del prototipo son: la cocoa se adhiere fuertemente en las paredes del vaso, su extracción mecánica es complicada por lo que requiere un sistema oleohidráulico comercial de 2,000 kg; El uso manual del sistema

oleohidráulico compromete al operador a ocupar su tiempo en este proceso; El costo de la fabricación aumentó por la necesidad de aplicar la presión de  $500 \text{ kg/cm}^2$ .

La investigación debe continuar para construir un prototipo de uso eléctrico y más práctico. Un equipo cuya extracción de cocoa sea mediante la fuerza del mismo sistema oleohidráulico y las paredes del vaso sean cónicas para disminuir la adhesión de la cocoa. Un equipo que evite la pérdida de calor mediante un sistema práctico de aislamiento. Un prototipo que pueda aumentar el número de vasos sin demandar una fuerza mayor.

En relación a la cocoa residual después del prensado. Los tratamientos cuya presión era mayor presentaron un residuo sólido de cocoa de menor peso. El promedio de la cocoa al aplicar una presión de  $500 \text{ kg/cm}^2$  fue de 278 a 289 gr, mientras que al aplicar  $150 \text{ kg/cm}^2$  el promedio fue de 327 a 330 gr.

## 6. Conclusiones

La actual investigación presenta aportaciones a la tecnología y a la literatura; así mismo se valida información encontrada en libros.

El diseño y la construcción del prototipo para separar grasa al cacao a una escala que no existe en el mercado es la aportación tecnológica. El resultado encontrado acepta la hipótesis general que suponía era posible el diseñar y construir un prototipo para desgrasar el cacao a una escala pequeña que cumpliera con las especificaciones de la literatura.

Los rendimientos de la separación de grasa fueron evaluados con la máquina construida mediante un análisis de experimentos completamente al azar de un solo factor. Los tratamientos fueron doce combinaciones con 4 niveles de presión y 3 de tiempos de drenaje.

Los resultados fueron analizados estadísticamente, los cuales validan la eficiencia de extracción de grasa encontrada en la literatura que es del 85 al 90 % pues la eficiencia máxima lograda fue del 87 al 92 %. Por lo que la primera hipótesis secundaria que suponía que el equipo construido podía separar al menos el 85 % de la grasa al aplicársele una presión de 500 kg/cm<sup>2</sup> es aceptada.

Así mismo, los resultados aportan información a la literatura pues se presentan rendimientos a presiones de: 150, 250 y 350 kg/cm<sup>2</sup>. Los rendimientos máximos a dichas presiones son del 72 al 87 %. Por lo que la segunda hipótesis secundaria que suponía que el prototipo construido podía separar al menos el 75 % de la grasa al aplicársele una presión inferior a los 500 kg/cm<sup>2</sup> con un mayor tiempo de drenaje es aceptada.

La transferencia de la tecnología para separar la grasa del cacao a los pequeños productores sin antes haber estudiado el mercado y los mecanismos de comercialización no es recomendable.

La transferencia de la tecnología para desgrasar la grasa del cacao a los microempresarios es factible si otras máquinas como refinadora y concha son construidas a su escala.

## 7. Recomendaciones

Las eficiencias de extracción de grasa a presiones inferiores a los 500 kg/cm<sup>2</sup> presenta a futuras investigaciones los siguientes retos: El primero es la fabricación y estudio de costos de un prototipo de bajo presupuesto económico y el segundo es la investigación del mercado que permita asegurar la comercialización de los bienes intermedios a los posibles usuarios de bajo poder adquisitivo.

Las recomendaciones para la fabricación de un prototipo sencillo son:

Utilizar un sistema oleohidráulico comercial manual con capacidad de 20 ton y una sola bomba.

El vaso sea del mismo material pero con paredes cónicas, espesor de 0.4 cm, mismo diámetro y altura calculada para un kg de licor de cacao.

El diseño de las vigas se mejore con la finalidad de emplear menos material y aumente el FS.

Omita el uso del manómetro.

Utilice controladores de temperatura de menor precisión y sin pantalla digital.

Aproveche el mismo sistema oleohidráulico para remover la cocoa.

La segunda recomendación es estudiar el mercado y los mecanismos de venta de los subproductos: grasa y cocoa, de los productores a los consumidores para asegurar el máximo beneficio en ingresos.

## 8. Referencias bibliográficas

- BAILEY, A. (1984) Industrial and Fats Products. Nueva York: Interscience Publishers, Inc.
- BRAMBILIA, J. (2006) En el Umbral de una Agricultura Nueva. Texcoco: Colegio de Postgraduados.
- BECKETT, S. T. (2000) La Ciencia del Chocolate. Zaragoza: Editorial Acribia, S.A.
- BELITZ, H., GROSCH, W. y SCHIEBERLE, P. (2004) Food Chemistry. 3ª ed. Berlin: Springer.
- CHAPA, M. (2003) Chocolate, Regalo del Edén. 1ª ed. Villahermosa: Gobierno del estado de Tabasco.
- COE, S.D., COE M.D. (1999) La Verdadera Historia del Chocolate. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- COFUPRO, SAGARPA. Coordinadora Nacional de Fundaciones Produce, A. C, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México (2003). Foro nacional cacaoero: Programa Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología para la Cadena Agroindustrial Cacao. Villahermosa: Información Docta. Disponible en: <http://www.cofupro.org.mx/Publicacion/Archivos/penit94.pdf> [Consultado 27/08/2010].
- DEUTSCHMAN, A.D. (1999) Diseño de Máquinas, Teoría y Práctica. Barcelona: Compañía editorial Continental.
- GONZÁLEZ, V. W., & AMAYA, G. (2005). Cacao en México: Competitividad y Medio Ambiente con Alianzas (Informe No. 825). Washington: Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID). Disponible en: [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNADE176.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADE176.pdf) [Consultado 27/08/2010].
- HOLMAN, J.P. (1990) Heat Transfer. 7ª ed. Nueva York: McGraw-Hill Inc.
- LAMOYI, C. (2000) Diagnóstico Organizacional de la Microindustria Chocolatera Artesanal de la Chontalpa. En: Resúmenes de trabajos de investigación presentados por profesores investigadores de la UJAT en la semana del 22-26 de noviembre de 1999. Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Dirección de Investigación y Posgrado, 33-37.
- LAWSON, H. (1995) Food Oils and Fats. London: Chapman & Hall.
- LOPEZ, M.R. (1987) El Cacao en Tabasco. Chapingo: Universidad Autónoma de Chapingo.
- MARTINEZ, A. (2007) Modelo de Innovación para el Desarrollo Local Sostenible en Cunduacán, Tabasco. Tesis doctorado. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- MINIFIE, B.W. (1970) Chocolate, Cocoa and Confectionery: Science and Technology. London: J.&A. Churchill.

- MONTGOMERY, D. (2009) Design and Analysis of Experiments. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons.
- OLAN, J.F (2009). Campaña contra la Moniliasis del Cacao (Theobroma cacao). Consultado en Internet el 22 de agosto del 2010, de <http://www.cesvetab.com/>
- PAHL, G., BEITZ, W., Feldhusen, J., Grote, K-H. (2007) Engineering Design, a Systematic Approach. 3ª ed. Berlín: Springer.
- POPOV, E.P. (1998) Engineering Mechanics of Solids. 2ª ed. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- RAMIREZ, S.I. (2007) La Moniliasis un Desafío para lograr la Sostenibilidad del Sistema Cacao en México. Tecnología en Marcha, 21(1), 97-110.
- SANTOS, J.L. (1973) Estudio del Cacao y su Industrialización. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- SERRANO, N.A. (2002) Oleohidráulica. 1ª ed. Nueva York: McGraw-Hill.
- SHIGLEY. J.E. (1976) Applied Mechanics of Materials. Nueva York: McGraw-Hill Inc.
- SIAP (2010) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. [citado 11 Ago 2010]. <http://www.siap.gob.mx/>
- TIMOSHENKO, S.P. (1997) Mecánica de Materiales. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana.
- VAZQUEZ, C.J. (2007) Productivity Management of the Cacao Agro-food System in Tabasco (Mexico): a fitness approach. Tesis de doctorado. Plymouth: University of Plymouth.
- VAN VLACK, L. (1973) A Textbook of Materials Technology. Massachusetts: Addison-Wesley.
- YANES, M. (1994) El Cacao: Origen, Cultivo e Industrialización en Tabasco. Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

## 9. Anexos

En esta última parte se presentan tres anexos A, B y C con la finalidad de facilitar al lector la interpretación de los componentes del prototipo, imágenes de algunos momentos durante las pruebas preliminares y de los productos intermedios resultantes de la experimentación.

### 9.1 Anexo A

En esta sección se presentan algunas fotografías tomadas durante el proceso de extracción de las pruebas preliminares.

En la *Figura 1A* se puede observar las almendras después de haber sido descascarilladas.



*Figura 1A. Las almendras de cacao.*

En la *Figura 2A* se muestra la caja de control. En esta caja se observa las pantallas digitales de los controladores de temperatura y los interruptores de encendido de las diferentes resistencias eléctricas utilizadas.



*Figura 2A. Imagen de la caja de control*

En la siguiente *Figura 3A* se observa el molino de granos que se encuentra integrado al cuerpo de la prensa.



*Figura 3A. El proceso del molido.*

El proceso del agitado inicia al vaciar el cacao recién molido adentro del tanque agitador como se muestra en la *Figura 4A*. En esos momentos las paredes del tanque se encuentran caliente, se funde la grasa y se inicia la agitación forzada.



*Figura 4A. El cacao molido a la entrada del tanque agitador*

La grasa contenida en el licor de cacao se va derritiendo, con la agitación forzada se agiliza el intercambio de calor entre las paredes y el contenido del cilindro. En la *Figura 5A* se observa una vista superior del tanque agitador en funcionamiento.



*Figura 5A. El tratamiento térmico mediante el tanque agitador.*

El resultado de la agitación, un licor caliente y acuso, se muestra en la *Figura 6A*.



*Figura 6A. El licor de cacao a la salida del tanque agitador*

El paso siguiente, el prensado se puede observar en la siguientes *Figuras 7A y 8A*. Las paredes del vaso, así como el émbolo superior están a 95 °C con la finalidad de mantener al licor de cacao a una temperatura aproximada a la que sale del tanque agitador.



*Figura 7A. El vaso es llenado del cacao agitado durante una prueba preliminar.*



*Figura 8A. El momento que el émbolo superior empieza a ejercer presión al licor de cacao.*

La *Figura 9A* muestra otro vista del prensado, ahí se observan varios elementos de la prensa.



*Figura 9A. El momento que se aplica fuerza sobre la palanca y el vaso inicia movimiento ascendente.*

La grasa separada se muestra en las siguientes figuras. La grasa es presionada neumáticamente para que entre y salga del filtro-prensa. La *Figura 10A* se observa el momento que se calentaba las paredes del cilindro antes de colocarle la resistencia eléctrica.



*Figura 10A.* La grasa a la salida del filtro-prensa durante las pruebas preliminares.

La *Figura 11A* muestra dos recipientes de grasa, el primero corresponde a la grasa fundida recién salida del filtro-prensa y la segunda es grasa sólida después de cierto tiempo de haberse filtrado.



*Figura 11A.* La grasa recién salida del filtro-prensado es líquida, al poco tiempo se solidifica.

La cocoa después del prensado se encuentra compactada como se muestra en la *Figura 12A*. Este residuo se adhiere fuertemente a las paredes del vaso y su remoción es complicada a menos que el vaso sea de pared cónica.



*Figura 12A. La remoción de la cocoa.*

La prensa vista frontal se muestra en la *Figura 13A*, ahí se observa el molino, el tanque agitador, la caja de control, las bombas hidráulicas, el manómetro, el vaso y la estructura de la prensa.



*Figura 13A. La prensa vista frontal.*

## 9.2 Anexo B

En esta parte se presentan los resultados de las 35 pruebas en el orden que fueron realizadas durante la experimentación. Se recuerda que una prueba fue desechada debido a que la grasa no pudo ser recolectada por una falla en el sistema de bombeo de aire.

Prueba no.	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Grasa (gr)	Cocoa (gr)
1	500	60	219	275
2	250	30	172	301
3	150	45	194	317
4	500	30	192	300
5	250	45	184	315
6	500	60	212	288
7	150	60	159	333
8	250	60	167	318
9	350	45	180	305
10	150	60	160	325
11	250	30	168	323
12	500	30	208	289
13	250	45	179	312
14	250	45	177	309
15	250	60	187	301
16	150	45	181	319
17	500	60	205	272
18	150	30	167	319
19	150	60	168	332
20	250	30	187	298
21	350	30	193	282
22	350	30	187	286
23	350	60	213	283
24	500	30	201	279
25	350	60	204	282
26	150	45	124	336
27	150	30	146	329
28	350	60	185	286
29	250	60	181	296
30	350	30	182	298
31	500	45	212	278
32	500	45	205	277
33	500	45	np	np
34	150	30	151	335
35	350	45	178	299
36	350	45	184	303

np: prueba no realizada

### 9.3 Anexo C

En esta parte se presentan algunas fotografías de los productos intermedios, resultados de las pruebas experimentales. Las cuatro pruebas mostradas corresponden a un tiempo de drenaje de 60 minutos, cada una con diferente nivel de presión. Las pruebas fueron envasadas en el mismo tipo de recipiente de capacidad 250 ml.

En la *Figura 1C* se muestra la grasa y la cocoa de la prueba número 1 (500 kg/cm<sup>2</sup>, 60 min).



*Figura 1C. Grasa y cocoa de la prueba número 1 (500 kg/cm<sup>2</sup>, 60 min)*

En la *Figura 2C* se muestra la grasa y la cocoa de la prueba número 23 (350 kg/cm<sup>2</sup>, 60 min).



*Figura 2C. Grasa y cocoa de la prueba número 23 (350 kg/cm<sup>2</sup>, 60 min)*

La prueba número 15 se presenta a continuación en la *Figura 3C*, esta prueba corresponde a una presión de  $250 \text{ kg/cm}^2$  y 60 min de tiempo de drenado.



*Figura 3C. Resultado de la prueba número 15 ( $250 \text{ kg/cm}^2$ , 60 min).*

Los resultados de la prueba 19 se muestran en la *Figura 4C*, la prueba consiste en aplicar una presión de  $150 \text{ kg/cm}^2$  durante 60 min.



*Figura 4C. Grasa y cocoa de la prueba 19 ( $150 \text{ kg/cm}^2$ , 60 min).*

La *Figura 5C* muestra los cuatro recipientes de grasa presentados en las figuras pasadas.



*Figura 5C. Los recipientes de las pruebas 19, 15, 23 y 1.*