

**DISEÑO DE UNA PRENSA CONTINUA TIPO EXPELER HIDRÁULICO PARA  
LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA EN LA EMPRESA FAMAG LTDA.**

**JULIAN RAMIRO CONTRERAS TORRES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2013**

**DISEÑO DE UNA PRENSA CONTINUA TIPO EXPELER HIDRÁULICO PARA  
LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA EN LA EMPRESA FAMAG LTDA.**

**JULIAN RAMIRO CONTRERAS TORRES**

**Trabajo de grado para optar el título de  
Ingeniero mecánico**

**DIRECTOR  
CARLOS BORRAS PINILLA  
Ingeniero mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2013**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres y hermanos  
por su apoyo en todo momento.*

***Julian Contreras***

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Elida Calderón, subgerente de la Fábrica de Maquinaria Agroindustrial FAMAG LTDA. Por la confianza depositada en mi para el desarrollo del proyecto.*

*Al departamento de diseño e ingeniería de FAMAG LTDA. Por su colaboración en la realización del proyecto.*

*A Carlos Borrás Pinilla, ingeniero mecánico, director del proyecto de grado. Por su respaldo, colaboración y asesoría.*

*A Renzo Alejandro Velandia, ingeniero mecánico. Por su asesoría y apoyo.*

*A Rubén Darío Mosquera, Ingeniero mecánico. Por su confianza y colaboración.*

*A Omar Armando Gelvez Arocha, ingeniero mecánico. Por su confianza, conocimiento y formación académica.*

*A mis amigos y compañeros.*

*A todas las personas que de alguna u otra forma contribuyeron a la culminación de esta etapa de mi vida.*

***Julian Contreras***

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN.....	22
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	25
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	25
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA .....	26
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO .....	27
1.3.1 Objetivo general.....	27
1.3.2 Objetivos específicos.....	27
2. GENERALIDADES DE LA PALMA DE ACEITE.....	28
2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL FRUTO DE LA PALMA .....	32
2.2 EL ACEITE DE PALMA .....	33
2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA.....	34
2.4 PALMA DE ACEITE EN COLOMBIA .....	38
2.4.1 Área cultivada y capacidad de las plantas extractoras.....	40
2.4.2 Produccion de aceite de palma.....	41
2.4.3 Rendimiento de la extracción de aceite de palma.....	42
2.5 MERCADO DE LA PALMA DE ACEITE .....	43
2.5.1 Mercado mundial.....	46
2.5.2 Comercio exterior.....	47
3. PROCESO DE DISEÑO CONCEPTUAL.....	48

3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	48
3.2 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD).....	51
3.2.1 Requerimientos del consumidor.....	51
3.2.2 Organización de requerimientos.....	52
3.3 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	54
3.3.1 Primera alternativa de diseño.....	54
3.3.2 Segunda alternativa.....	55
3.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	56
3.5 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA GANADORA.....	57
4. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA	59
4.1 LA ESTACIÓN DE PENSADO .....	59
4.2 PROCESO DE PENSADO .....	64
4.3 MECANISMO DE PENSADO .....	66
4.4 REQUERIMIENTOS Y VARIABLES DEL PROCESO DE PENSADO .....	70
4.5 DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE PENSADO .....	72
5. SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DE LA MAQUINA.....	75
5.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	75
5.2 SUBSISTEMAS DE LA MAQUINA .....	75
5.2.1 Sistema generación de potencia.....	76
5.2.2 Sistema de transmisión de potencia.	78
5.2.3 Sistema de prensado	79
5.2.4 Sistema hidráulico	82
5.2.5 Sistema estructural	84

6. CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS.....	88
6.1 VARIABLES DE ENTRADA PARA EL DISEÑO .....	88
6.2 CALCULO DE CAPACIDAD DE LA PRENSA .....	92
6.3 DISEÑO DE LA TRANSMISIÓN POTENCIA.....	92
6.4 DISEÑO TORNILLOS SIN FIN DE PRENSADO .....	97
6.4.1 Diseño del eje de los tornillos.....	99
6.4.2 Determinación del torque requerido para el proceso.....	101
6.4.3 Cálculos de esfuerzos en el tornillo.....	108
6.4.4 Desgaste en los tornillos de prensado.....	116
6.5 DISEÑO DE LA CANASTA DE PRENSADO.....	117
6.6 DISEÑO DE LOS ENGRANAJES.....	119
6.7 DISEÑO DE LOS EJES DE TRANSMISIÓN .....	130
6.7.1 Diseño del eje conductor.....	130
6.7.2 Diseño del eje conducido.....	136
6.8 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL.....	139
6.9 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRAULICO .....	140
6.9.1 Operación del sistema hidráulico.....	150
7. SELECCIÓN DE ELEMENTOS MECANICOS.....	153
7.1 SELECCIÓN DEL MOTOR.....	153
7.2 SELECCIÓN DEL REDUCTOR .....	154
7.3 SELECCION DEL ACOPLER.....	156
7.4 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....	157

8. DISEÑO DEFINITIVO.....	163
8.1 INTEGRACION DE COMPONENTES.....	165
8.2 RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN.....	166
9. ANALISIS DE COSTOS.....	168
CONCLUSIONES.....	171
BIBLIOGRAFIA.....	175
ANEXOS.....	177

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.Palma de aceite (eleais guineensis).....	28
Figura 2.Fruto palma de aceite.....	29
Figura 3.Plantación de palma de aceite.....	30
Figura 4.Planta extractora de aceite crudo de palma.....	31
Figura 5.Productos obtenidos a partir del aceite crudo de palma.....	31
Figura 6.Componentes del racimo y partes del fruto palma de aceite.....	32
Figura 7.Aceite crudo de palma.....	34
Figura 8.Proceso de extracción de palma de aceite.....	37
Figura 9.Evolución de la siembra de palma de aceite por zonas 2003-2010.....	39
Figura 10.Zonas productivas de aceite de palma en colombia.....	39
Figura 11.Producción de fruto de palma de aceite por zonas 2003-2010.....	41
Figura 12.Rendimiento de producción de fruto de palma por hectárea.....	43
Figura 13.Producción de aceite crudo de palma en colombia.....	44
Figura 14.Evolución de las exportaciones de aceite de palma en bruto, refinado y fracciones.....	45
Figura 15.Principales exportadores de aceite de palma del mundo.....	46
Figura 16. Principales países importadores de aceite de palma colombiano.....	47
Figura 17.Etapas del proceso de diseño.....	49
Figura 18.Requerimientos y resultados del proceso de diseño.....	49
Figura 19.Prensa tipo expeler de tornillo simple.....	54
Figura 20.Prensa continua de doble tornillo sin fin.....	55

Figura 21.Descripción de la alternativa ganadora.....	57
Figura 22.Estación de prensado.....	59
Figura 23.Diagrama de montaje estación de prensado.....	60
Figura 24.Composición fibrosa del mesocarpio del fruto de palma.....	61
Figura 25.Digestor .....	62
Figura 26.Torta de prensado.....	63
Figura 27.Licor de prensa.....	64
Figura 28.Flujo de masa y pérdidas durante el proceso de extracción de aceite de palma.....	65
Figura 29.Salidas del proceso de prensado.....	66
Figura 30.Mecanismo de prensado para la extracción de aceite de palma.....	67
Figura 31.Funcionamiento del mecanismo de prensado.....	68
Figura 32.Canasta perforada para prensa de extracción de aceite de palma.....	68
Figura 33.Tornillos sinfín utilizados para extraer aceite de palma.....	69
Figura 34.Perdidas de aceite en fibra contra presión de prensado.....	70
Figura 35.Rompimiento de nuez contra presión de prensado.....	71
Figura 36.Presión de prensado.....	74
Figura 37.Vista general prensa continua para la extracción de aceite de palma...	76
Figura 38.Sistema de generación de potencia y torque.....	77
Figura 39.Sistema de transmisión de potencia.....	78
Figura 40.Sistema de prensado.....	80
Figura 41.Sistema hidráulico.....	82

Figura 42.Estructura principal.....	84
Figura 43.Soporte del motor.....	85
Figura 44.Montaje soporte motor.....	85
Figura 45.Porta canasta.....	86
Figura 46.Bastidor transmisión por engranajes.....	87
Figura 47.Etapas de transmisión de potencia.....	93
Figura 48. Modelo cad tornillo sin fin de prensado.....	98
Figura 49.Deformación de un eje debido a la torsión.....	99
Figura 50.Terminología del tornillo de prensado.....	101
Figura 51.Fuerzas que actúan entre los tornillos de prensado.....	102
Figura 52.Fuerzas que actúan sobre los tronillos de prensado.....	103
Figura 53.Secciones de los tornillos de prensado.....	106
Figura 54.Fuerzas experimentadas por los tornillos debido a la presión.....	107
Figura 55.Geometría del tornillo utilizada para determinar los esfuerzos de cizallamiento y esfuerzos de flexión sobre la base del tornillo.....	108
Figura 56. Perfil de presión a lo largo del tornillo.....	113
Figura 57.Análisis CAE tornillo sinfín, esfuerzo máximo.....	114
Figura 58.Análisis CAE tornillo sinfín, desplazamiento máximo.....	115
Figura 59.Análisis CAE tornillo sinfín, factor de seguridad.....	115
Figura 60. Área crítica de desgaste en los tornillos de prensado.....	116
Figura 61. Canasta de prensado.....	117

Figura 62.Análisis CAE Canasta de prensado a 580 psi, esfuerzo máximo.....	118
Figura 63.Análisis CAE Canasta de prensado a 580 psi, desplazamiento.....	118
Figura 64.Análisis CAE Canasta de prensado 580 psi, factor de seguridad.....	119
Figura 65. Área de contacto según el criterio de hertz.....	123
Figura 66.Resultados, diseño de engranajes.....	127
Figura 67.Análisis CAE Engranajes rectos, cargas y restricciones.....	128
Figura 68.Análisis CAE Engranajes rectos, esfuerzo máximo.....	128
Figura 69.Análisis CAE Engranajes rectos, desplazamiento máximo.....	129
Figura 70.Análisis CAE Engranajes rectos, factor de seguridad.....	129
Figura 71.Eje conductor, prensa extracción de aceite.....	130
Figura 72.Fuerzas y torques actuantes en el eje conductor.....	131
Figura 73.Diagrama de torques y fuerza axial eje conductor	131
Figura 74.Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector en el plano xz eje conductor.....	132
Figura 75.Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector en el plano YZ, eje conductor.....	132
Figura 76.Análisis CAE eje conductor prensa, esfuerzo máximo.....	135
Figura 77.Análisis CAE eje conductor prensa, desplazamiento máximo.....	135
Figura 78.Análisis CAE eje conductor prensa, desplazamiento.....	136
Figura 79.CAD eje conducido.....	137
Figura 80.Análisis CAE eje conducido prensa, esfuerzo máximo.....	137
Figura 81.Análisis CAE eje conducido prensa, desplazamiento.....	138
Figura 82.Análisis CAE eje conducido prensa, factor de seguridad.....	138

Figura 83. Análisis CAE estructura principal, esfuerzo máximo.....	139
Figura 84. Análisis CAE estructura principal, desplazamiento.....	139
Figura 85. Análisis CAE estructura principal, factor de seguridad.....	140
Figura 86. Circuito hidráulico básico para operación manual de la prensa.....	141
Figura 87. Área transversal cono de contra presión.....	143
Figura 88. Cilindro de accionamiento de los conos de contrapresión.....	143
Figura 89. Cilindro de accionamiento de los conos de contrapresión.....	144
Figura 90. Diseño final circuito hidráulico para accionamiento manual de la prensa.....	149
Figura 91. Circuito eléctrico accionamiento manual sistema hidráulico.....	150
Figura 92. Circuito hidráulico con control.....	151
Figura 93. Motor trifásico WEG.....	153
Figura 94. Reductor de velocidad SEW.....	155
Figura 95. Acople flexible de cadena con carcasa.....	156
Figura 96. Transmisión por engranajes rectos, rodamientos seleccionados.....	158
Figura 97. Rodamiento de cilindros a rotula.....	159
Figura 98. Características técnicas rodamiento de cilindros a rotula seleccionado.....	160
Figura 99. Rodamiento axial de rodillos a rotula.....	160
Figura 100. Características técnicas rodamiento axial de rodillos a rotula seleccionado.....	160
Figura 101. Dimensiones generales del diseño terminado.....	163

Figura 102.Integración de componentes de la prensa.....	165
Figura 103.Vista explosionada prensa extracción de aceite.....	165
Figura 104. Características técnicas prensa de extracción de aceite importada..	169

## LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1.Propiedades físicas del fruto de palma de aceite.....	33
Tabla 2.Composición nutricional del aceite de palma.....	34
Tabla 3.Zonas productivas de aceite de palma en colombia .....	38
Tabla 4.Área sembrada de palma de aceite en colombia (hectáreas) .....	40
Tabla 5.Capacidad instalada de las plantas extractoras de aceite de palma en colombia (toneladas rrf/hora) .....	40
Tabla 6.Distribución por tamaño de las plantas extractoras de aceite de palma (toneladas rrf/hora). .....	41
Tabla 7.Producción de fruto de palma en colombia (toneladas) .....	42
Tabla 8.Producción de aceite crudo de palma en colombia (toneladas).....	42
Tabla 9.Rendimiento de la extracción de aceite crudo en colombia (%).....	43
Tabla 10.Producción de biodiesel a partir de palma de aceite.....	45
Tabla 11.Despliegue de la función calidad. ....	53
Tabla 12.Matriz de ponderación. ....	56
Tabla 13.VARIABLES DE DISEÑO .....	91
Tabla 14.Velocidades de entrada recomendadas reductores industriales SEW.....	94
Tabla 15.Relaciones de transmisión reductores industriales SEW.....	94
Tabla 16.Iteración relación de transmisión seleccionada SEW.....	95
Tabla 17.Resultados selección de transmisión por correas trapezoidales.....	96
Tabla 18.Nomenclatura diseño tornillos.....	97

Tabla 19.Presiones intermedias a lo largo del tornillo.....	114
Tabla 20.Variables de entrada, diseño de engranajes.....	120
Tabla 21.Resultados, diseño de engranajes.....	121
Tabla 22.Propiedades mecánicas del acero SAE 4140.....	122
Tabla 23.Propiedades mecánicas acero SAE 4340.....	134
Tabla 24.Parámetros de diseño sistema hidráulico. ....	141
Tabla 25.Cilindro seleccionado para accionamiento de los conos de contrapresión .....	145
Tabla 26.Especificaciones técnicas bomba de paletas Vickers V10.....	146
Tabla 27.Especificaciones técnicas válvula direccional seleccionada .....	147
Tabla 28.Especificaciones técnicas válvula de seguridad .....	148
Tabla 29.Características técnicas motor trifásico WEG .....	154
Tabla 30.Características técnicas reductor industria SEW .....	155
Tabla 31.Características técnicas acoples flexibles de cadena intermec. ....	157
Tabla 32. Factor de seguridad rodamientos seleccionados.....	161
Tabla 33. Factor de seguridad rodamientos seleccionados.....	162
Tabla 34.Características técnicas prensa de extracción de aceite crudo de palma. .....	164
Tabla 35. Costos de inversión.....	168
Tabla 36 .Costos de un equipo importado .....	170

## LISTA DE ANEXOS

Página

ANEXO A. Flujo proceso de una planta de extracción de aceite de palma .....	178
ANEXO B. Propiedades del acero SAE 4140 .....	179
ANEXO C. Propiedades del acero SAE 4340 .....	180
ANEXO D. Reductor industrial seleccionado .....	181
ANEXO E. Retorno de la inversión para el cliente .....	182
ANEXO F. Planos generales.....	185

## RESUMEN

### TITULO:

**DISEÑO DE UNA PRENSA CONTINUA TIPO EXPELER HIDRÁULICO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA EN LA EMPRESA FAMAG LTDA.\***

### AUTOR:

**JULIAN RAMIRO CONTRERAS TORRES\*\***

### PALABRAS CLAVE:

Extracción de aceite, Aceite crudo de palma, prensa continua.

### DESCRIPCION

La agroindustria de la palma de aceite es una de las actividades económicas de mayor proyección hacia el futuro inmediato en nuestro país. Colombia ha apostado a su desarrollo como un vehículo que contribuya al crecimiento económico y al bienestar social de la población.

En cumplimiento de su misión institucional la Universidad Industrial de Santander de la mano con la industria metalmecánica local han querido unirse para ofrecer alternativas tecnológicas al sector agroindustrial mediante el diseño de los equipos requeridos para la extracción de aceite crudo de palma.

El objetivo de este proyecto de grado es diseñar una prensa continua para la extracción de aceite crudo de palma que cumpla con todos los requerimientos del proceso de extracción de aceite y se ajuste a las necesidades particulares de los productores de aceite crudo de palma de nuestro país.

Para el diseño se implementó una metodología de trabajo que abarco desde el estudio del proceso de extracción de aceite de palma hasta la generación final de los planos constructivos y de ensamble de la máquina, todos ellos basados en cálculos de ingeniería, modelados mediante paquetes de diseño asistido por computador CAD (SolidWorks®) y corroborados a través de simulaciones en software de ingeniería asistida por computador CAE (SolidWorks Simulation®) asegurando la confiabilidad del diseño.

---

\*Proyecto de grado

\*\*Facultad de ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director Carlos Borrás Pinill

## ABSTRAC

### TITLE:

**DESIGN OF A CONTINUOUS TYPE EXPELLER HYDRAULIC PRESS FOR PALM OIL EXTRACTION IN THE COMPANY FAMAG LTDA.\***

### AUTHOR:

**JULIAN RAMIRO CONTRERAS TORRES \*\***

### KEY WORDS:

Oil extraction, Crude oil palm, Continuous press.

### CONTENT

Oil palm agroindustry is one of the economic activities of major projection towards the immediate future in our country. Colombia has committed to his development as a vehicle to contribute to economic growth and social welfare of the population.

In fulfillment of his institutional mission the Industrial University of Santander of the hand with the local metalworking industry have wanted to join to offer alternative technologies to the agroindustry sector by means of the design of the equipments required for the extraction of crude oil palm.

The objective of this project is to design a continuous press for the extraction of crude oil palm that expires with all requirements of the oil extraction process and meets the needs of the producers of crude palm oil in our country.

For the design we implemented a methodology that spanned from the study of the process of oil palm extraction to the final generation of the construction plans and assembly of the machine, all based on engineering calculations, design packages modeled by computer aided CAD (SolidWorks ®) and corroborated through simulations in software computer aided engineering CAE (SolidWorks Simulation ®) design ensuring driveability.

---

\* Degree project

\*\* Department of Physical Mechanical Engineerings, Mechanical Ingeneering School, Director Carlos Borrás Pinilla.

## INTRODUCCIÓN

El sector agroindustrial y en especial la palma de aceite representan un renglón muy importante de la economía nacional, tanto así que el país ha apostado al desarrollo del sector palmero como una herramienta que impulse el crecimiento económico de las regiones y del país en general.

La creciente demanda de materias primas para la industria y la necesidad de producir combustibles más amigables con el ambiente han acelerado el aumento de hectáreas sembradas con palma de aceite en todo el territorio nacional. Este aumento a derivado en la construcción de nuevas plantas extractoras y ampliación de las ya existentes, para satisfacer la demanda local de productos derivados del aceite de palma y aumentar las exportaciones de aceite crudo a mercados del viejo continente y Norteamérica.

La modernización y adecuación de nuevos complejos agroindustriales para la extracción de aceite de palma ha sido una oportunidad para el sector metalmeccánico nacional, ya que este proceso requiere de muchas etapas donde intervienen equipos mecánicos de alta capacidad que son suministrados por este sector. Sin embargo algunos procesos requieren la importación de equipos especializados para llevarlos a cabo.

Tradicionalmente estos equipos han sido fabricados por los países líderes en la producción de aceite de palma a nivel mundial, de ahí la importancia de que el país invierta en el desarrollo de tecnología que sustente el crecimiento del sector palmero y lo fortalezca respecto de sus contendores para competir en mejores condiciones por el creciente mercado mundial del aceite de palma y los biocombustibles.

Los primeros equipos de extracción de aceite crudo de palma consistían en un cilindro perforado donde se vertía el fruto de palma y mediante cilindros hidráulicos se extraía el aceite de palma comprimiendo la masa de frutos. Hacia mediados del siglo pasado se mejoró considerablemente el proceso de extracción cuando se introdujeron las primeras prensas continuas de doble tornillos sinfín que redujeron el tiempo requerido para el proceso y aumentaron el rendimiento de la extracción. Desde esos días hasta la actualidad se han implementado mejoras en el diseño de estos equipos pero el principio de funcionamiento sigue siendo básicamente el mismo.

El presente proyecto de grado pretende ofrecer alternativas tecnológicas propias para la extracción de aceite de palma mediante el diseño de una prensa continua para la extracción de aceite crudo de palma, concebida acorde a las necesidades y condiciones particulares de nuestro país, así como documentar todo lo relacionado al proceso de prensado para la extracción de aceite de palma, ya que en la actualidad es muy escasa la información disponible sobre este tema en nuestro medio.

En el capítulo uno se presenta la necesidad del diseño de la máquina, la justificación de la solución para llevar a cabo el diseño y se establecen los objetivos del proyecto de grado.

En el capítulo dos se tratan aspectos generales de la palma de aceite, la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y la importancia económica que representa la palma de aceite para el país.

En el capítulo tres se dan los lineamientos para el diseño de la máquina tales como la metodología de diseño, se identifican las necesidades específicas para el diseño, se dan las alternativas de solución y finalmente se opta por una de ellas para el diseño de la máquina.

En el capítulo cuatro se hace una descripción del entorno de trabajo de la máquina dentro del proceso de extracción de aceite. Se estudian y se identifican las variables de diseño y se explica el funcionamiento del mecanismo de prensado.

En el capítulo cinco se hace una descripción del funcionamiento de la máquina y se definen los subsistemas de la máquina.

En el capítulo seis se desarrolla todo el diseño mecánico y la validación mediante análisis de esfuerzo en entonces CAD/ CAE de los elementos vitales de la prensa.

En el capítulo siete se muestran la selección de los elementos comerciales utilizados en el diseño de la prensa.

En el capítulo ocho se hace la integración de todos elementos y subsistemas de la máquina y se da una idea de la máquina una vez construida.

En el capítulo nueve se realiza en análisis financiero y de viabilidad para la construcción de la máquina. Finalmente se presentan las conclusiones y las recomendaciones del proyecto.

# 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

## 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Colombia actualmente es el quinto productor mundial de aceite de palma con 1% del total mundial y es el primer productor a nivel latinoamericano con el 35% del total de la producción de la región. Para el año 2020 Colombia ha proyectado aumentar siete veces su producción de aceite de palma pasando de 500.000 toneladas en 1999 a cerca de 3,5 millones en el 2020 y crecer sus exportaciones pasando del 24% de la producción nacional en 2001 al 78% en el 2020. Actualmente, Colombia se encuentra muy rezagado de los principales productores mundiales de aceite de palma, Malasia (44%) y Indonesia (41%). En el ámbito nacional Santander y en especial los municipios de Sabana de Torres y Puerto Wilches cuentan con grandes extensiones de cultivos de palma africana y son unos de los mayores productores de aceite de palma del país.

Para cumplir con las metas de desarrollo que el país se ha trazado se deberán hacer grandes esfuerzos en infraestructura e implementación de nuevas tecnologías que permitan optimizar los procesos existentes y aumentar la capacidad de las plantas extractoras, así como la construcción de nuevos complejos agroindustriales.

En la actualidad los equipos y la maquinaria utilizada en el proceso de extracción de aceite de palma son importados desde Malasia o producidos en Colombia bajo la supervisión de compañías de malasia o indonesia.

Si el país y el sector palmicultor pretenden competir y fortalecerse respecto a sus competidores deberán apostar a implementar sus propios procesos y desarrollar sus propios equipos y maquinaria que le permitan optimizar su producción actual y aumentar su producción en aras de cumplir con sus metas de desarrollo.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA**

La necesidad de ser cada día más competitivos ha hecho que todos los sectores productivos busquen un mejoramiento continuo de sus procesos y su productividad, el sector palmicultor no es ajeno a esta búsqueda y ya tiene fijado sus metas de desarrollo para los próximos años.

La importancia del sector palmicultor en Santander radica en el impacto socioeconómico que este tiene sobre la generación de empleo y como foco de desarrollo para la región. La Universidad Industrial de Santander en cumplimiento de su misión debe ofrecer soluciones a los problemas del sector industrial regional.

Este proyecto propone el diseño de una prensa continua para la extracción de aceite crudo de palma que permitirá reducir considerablemente los costos de maquinaria y equipo para el proceso de extracción, así como incentivar el crecimiento de la industria metalmecánica de la región.

Con este proyecto pretendemos contribuir al crecimiento del sector palmicultor de la región ofreciendo maquinaria de bajo costo y de alta calidad producida ciento por ciento por manos santandereanas que permitan alcanzar las metas de crecimiento del sector y afianzar el desarrollo del sector metalmecánico en el proceso de diseño e innovación de maquinaria para la agroindustria nacional.

## 1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

### 1.3.1 Objetivo general

Contribuir con el desarrollo de la misión institucional de la Universidad Industrial de Santander generando conocimiento que beneficie al sector productivo regional, mediante el diseño de una prensa continua para la extracción de aceite de palma que brinde alternativas tecnológicas al sector palmicultor e incentive el crecimiento de la industria metalmecánica local.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar una prensa continua para la extracción de aceite de palma que cumpla con las siguientes especificaciones:
  - ✓ El costo del equipo deber estar por debajo del costo de importación de un equipo de características similares.
  - ✓ Capacidad de 14 a 16 Ton RRF (racimos de frutos frescos) por hora.
  - ✓ Potencia del motor de 40 a 50 HP.
  - ✓ Dimensiones: 4600 mm x 1400 mm x 1100 mm
  - ✓ Peso del equipo menor a 5.5 Ton.
  - ✓ Perdidas de aceite en fibra < 10%
  - ✓ Porcentaje de nueces rotas < 12 %
  - ✓ Flujo de alimentación de 3500 L/hora fruto desgranado.
  
- Elaborar las memorias de cálculo, planos de detalle, planos constructivos y planos de ensamble para la empresa **FAMAG Ltda.**
  
- Desarrollar un manual de operación y mantenimiento de la máquina para garantizar un funcionamiento adecuado del equipo.
  
- Realizar el análisis económico de inversión para la fabricación de la prensa por parte de **FAMAG Ltda.**

## 2. GENERALIDADES DE LA PALMA DE ACEITE

La palma de aceite (*Elaeis guineensis*) es una planta tropical propia de climas cálidos, se desarrolla hasta los 500 metros sobre el nivel del mar. Dentro de los cultivos de semillas oleaginosas es el que produce mayor cantidad de aceite por hectárea.

**Figura 1.** Palma de aceite (*Elaeis guineensis*)



**Fuente:** <http://mmhomeopatica.blogspot.com>

La palma de aceite es una monocotiledónea. Su cultivo tarda, entre 2 y 3 años para empezar a producir frutos y puede hacerlo durante 25 años o más. La palma se clasifica en variedades que se caracterizan principalmente por la forma, el color, la composición del fruto, y la forma de la hoja.

- ♦ **Raíces:** Las raíces se originan del bulbo radical de la base del tronco. En su mayor parte son horizontales. Se concentran en los primeros 50 m del suelo. Sólo las raíces de anclaje se profundizan.

- ♣ **Tronco o estipe:** con un solo punto terminal de crecimiento con hojas jóvenes, denominado palmito. Puede alcanzar hasta 30 m de longitud.
- ♣ **Hojas:** de 5 a 7 m de longitud, con 200 a 300 folíolos en dos planos diferentes. El pecíolo es de aproximadamente 1,5 m de largo y se ensancha en la base. La cara superior es plana y la inferior redondeada. Sus bordes son espinosos, con fibras. Las hojas permanecen adheridas al tronco por 12 años o más.
- ♣ **Inflorescencia:** produce flores de ambos sexos. La inflorescencia es un espádice formada por un pedúnculo y un raquis central ramificado. Antes de la abertura, la flor está cubierta por dos espatas.
- ♣ **Fruto:** drupa ovoide, de 3 a 5 cm de largo. Los estigmas persisten en su extremo, en forma de tres pequeños apéndices arqueados. Las partes del fruto son: estigma, exocarpio, mesocarpio o pulpa, endocarpio o cuesco, endospermo o almendra y embrión.

**Figura 2.**Fruto palma de aceite



**Fuente:** <http://www.arbolesymedioambiente.es>

Es difícil diferenciar formas definidas en la palma de aceite. Sin embargo, se distinguen las siguientes variedades:

- ◆ **Dura:** su fruto tiene un endocarpio de más de 2 mm de espesor. El mesocarpio o pulpa contiene fibras dispersas, y es generalmente delgado.
- ◆ **Pinífera:** no tiene endocarpio. La almendra es desnuda. El mesocarpio no contiene fibras y ocupa gran porción del fruto. Esta variedad produce pocos frutos en el racimo. Por eso se emplea sólo para mejorar la variedad dura, mediante cruces con otras variedades.
- ◆ **Ténera:** es el híbrido del cruce entre Dura y Pisífera. Tiene un endocarpio delgado de menos de 2 mm de espesor. En el mesocarpio se encuentra un anillo con fibras.

La palma de aceite es originaria del Golfo de Guinea (África occidental), de ahí su nombre científico, *Elaeis guineensis* Jacq, y su denominación popular: palma africana de aceite, se cultiva hasta 15° de latitud norte o sur. Su introducción en América tropical se atribuye a los colonizadores y comerciantes portugueses, que la usaban como parte de la dieta alimentaría de los esclavos en el Brasil.

**Figura 3.** Plantación de palma de aceite



**Fuente:** <http://www.prweb.com>

La palma de aceite genera una gran variedad de productos, los cuales se utilizan en la alimentación y la industria. Del fruto de la palma se extrae el aceite crudo y la nuez o almendra mediante procesos mecánicos y térmicos. Estos productos se incorporan luego a otros procesos para su fraccionamiento o la obtención de otros productos finales.

**Figura 4.**Planta extractora de aceite crudo de palma



**Fuente:** <http://www.klk.com.my>

Tanto el aceite de pulpa como el de almendra se emplean para producir margarina, manteca, aceite de mesa y de cocina y también jabones. El aceite de pulpa se usa en la fabricación concentrados minerales, helados, aditivos para lubricantes, crema para zapatos, tinta de imprenta, velas, entre otros. Se usa también en la industria textil y de cuero, en la producción de ácidos grasos y vitamina A. Últimamente se ha venido trabajando fuertemente en la obtención de biodiesel a partir del fruto de palma de aceite.

**Figura 5.**Productos obtenidos a partir del aceite crudo de palma

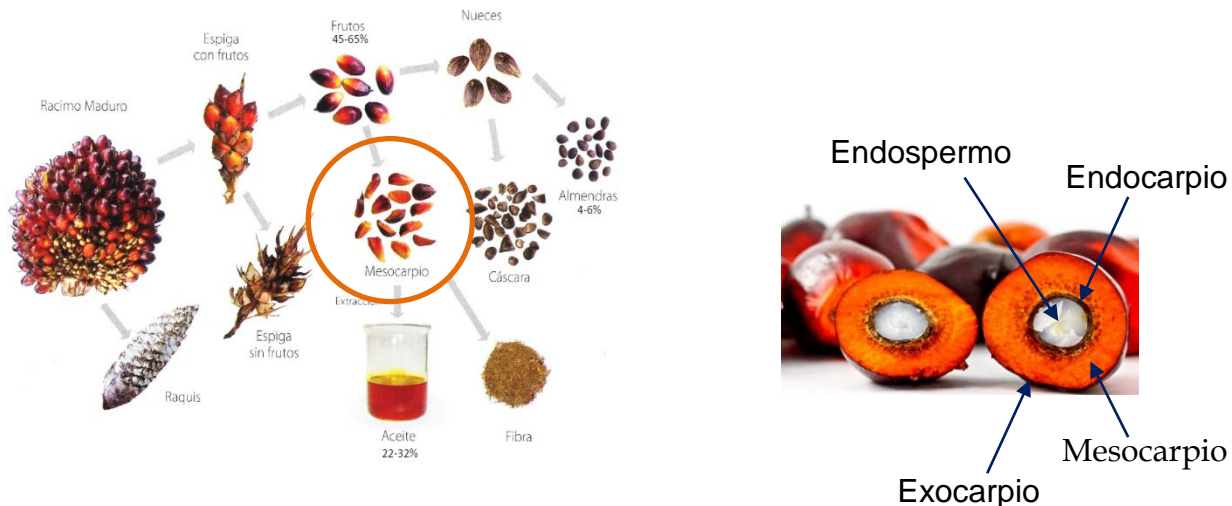


**Fuente:** <http://www.greenpalm.org>

## 2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL FRUTO DE LA PALMA

El racimo maduro de frutos de palma tiene una forma ovoide, más o menos erizada por las espigas que son las partes terminales de las espigas. El tamaño y peso de los racimos aumenta con la edad de la palma; al mismo tiempo que se reduce el número de racimos por planta. El peso inicial de los racimos en palmas jóvenes es bajo (2.5-3 kg), pero en palmas adultas puede llegar hasta 50 kg (promedio entre 10 y 25 kg). El tamaño aproximado del racimo en palmas adultas es de 50 cm de largo y 35 cm de ancho. El número de racimos producidos por palma por año es variable, de acuerdo con la edad y factores genéticos, pero una palma adulta puede producir normalmente entre 8 y 13 racimos en un año. El racimo está compuesto principalmente de un pedúnculo o raquis, espigas y frutos. Los frutos individuales son ovoides pesan entre 8 y 15 gramos y miden entre 3 y 5 cm de largo y representan entre el 45 %y 65% del peso total del racimo. El contenido de aceite en el racimo varía entre el 18% y el 32% dependiendo de la variedad y tipo de palma.

**Figura 6.**Componentes del Racimo y partes del Fruto palma de aceite



**Fuente:** Autor.

**Tabla 1.**Propiedades físicas del fruto de palma de aceite

<b>Características físicas</b>	<b>Media</b>
Longitud del fruto [cm]	4,22
Diámetro del fruto [cm]	2,76 ± 0,30
Peso del fruto [g]	14,29 ± 3,77
Peso de la pulpa [g]	10,31 ± 2,65
Longitud de la semilla [cm]	3,04 ± 0,34
Diámetro de la semilla [cm]	1,79 ± 0,31
Peso de la semilla [g]	3,96 ± 1,31
<b>Composición proximal</b>	
Humedad [g/100g]	13,08 ± 0,09
Ceniza [g/100g]	0,26 ± 0,02
Aceite [g/100g]	69,21 ± 0,11
Proteína [g/100g]	1,86 ± 0,01
Fibra [g/100g]	4,56 ± 0,01
Carbohidratos [g/100g]	11,03 ± 0,01

**Fuente:** Revista grasas y aceites, 59 (2), abril-junio, 104-109, 2008.

## **2.2 EL ACEITE DE PALMA**

Actualmente, el aceite de palma es el segundo aceite más consumido en el mundo, se emplea como aceite de cocina, para elaborar productos de panadería, pastelería, confitería, heladería, sopas instantáneas, salsas, diversos platos congelados, deshidratados y cremas no lácteas para mezclar con el café. El contenido de sólidos grasos del aceite de palma le da a algunos productos como margarinas de consistencia sólida que no tienen necesidad de hidrogenación.

**Figura 7.** Aceite crudo de palma



**Fuente:** <http://aexpalma.com/productos/index.htm>

Los datos de la composición nutricional del aceite de palma deben interpretarse por 100 g de la porción comestible.

**Tabla 2.** Composición nutricional del aceite de palma

COMPUESTO	CANTIDAD
Calorías	884 Kcal
Agua	0.00 g
Proteína	0.00 g
Grasa	100.00 g
Cenizas	0.00 g
Carbohidratos	0.00 g
Fibra	0.0 g
Calcio	0 mg
Hierro	0.01 mg
Fósforo	0 mg
Vitamina E	15.94 mg

**Fuente:** [http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut\\_search.pl](http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.pl)

### **2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA.**

El proceso de extracción de aceite de palma y otros posteriores, son procesos que comienzan con la corta de la fruta, el amontonamiento y transporte posterior a la planta de extracción, el cual se hace en camiones de carga, o carretas tiradas por tractores de llantas. Los cuales llegan a la planta y se genera el proceso de

descarga posterior al pesado de la fruta dándose una secuencia en el proceso que se describen a continuación:

- ◆ **PESADO DE FRUTA:** El procedimiento de pesado de la materia prima, consiste en pesar el camión lleno de fruta y luego de descargarlo para obtener por diferencia el peso neto de la fruta.
  
- ◆ **CONTROL DE CALIDAD MATERIA PRIMA:** Luego de pesada la fruta se procede a depositar los racimos de fruta y el fruto suelto en las tolvas para proceder luego a evaluar la calidad de la materia prima, por medio de un muestreo aleatorio del 10 % de la carga se determina el porcentaje (%) de fruta verde, porcentaje (%) de fruta pasada, porcentaje (%) de Pinzote, además se evalúa la cantidad de fruta suelta por medio del conteo de los sacos traídos.
  
- ◆ **LLENADO DE GÓNDOLAS:** Luego que la fruta se deposita en las tolvas se procede a traspasarla a las góndolas que son vagones individuales con una capacidad aproximada de 2.5 T.M por góndola.
  
- ◆ **ESTERILIZACIÓN FRUTA:** La esterilización es la primera etapa y posiblemente la más importante del proceso de extracción del aceite de palma. Los objetivos primordiales son:
  1. Inactivar las enzimas que causan el desdoblamiento del aceite y en consecuencia el incremento del porcentaje de ácidos grasos libres.
  2. Acelerar el proceso de ablandamiento de la unión de los frutos con su soporte natural (raquis o tuza).

3. Disminuir la resistencia de los tejidos de la pulpa para lograr el fácil rompimiento de las celdas de aceite durante los procesos de digestión y prensado.
4. Deshidratar parcialmente las almendras contenida en la nuez, para facilitar su recuperación posterior.

El proceso de esterilización se lleva a cabo, generalmente sometiendo los racimos de fruto fresco de palma a la acción de vapor de agua en recipientes cilíndricos horizontales (autoclaves), en donde los factores principales son el tiempo de cocción y la temperatura, dependiendo del tamaño de los racimos y del grado de madurez del racimo.

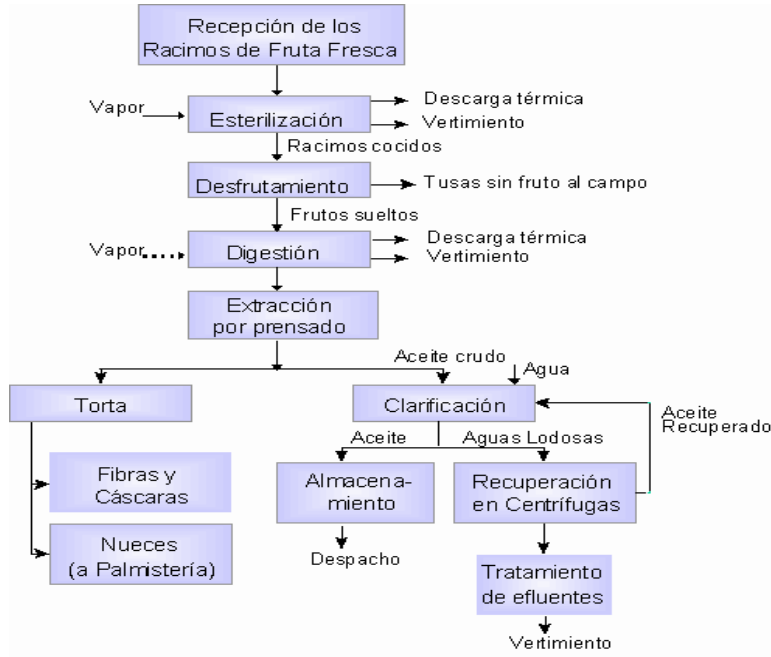
Luego que un grupo de 8 góndolas es llenado se procede a introducirlos en el autoclave, luego de haber cerrado la puerta se procede a abrir la válvula de alimentación de vapor que será suministrado a una presión de 45 psi (libras por pulgada cuadrada; por sus siglas en inglés) saturado y no seco. La fruta se mantiene por un periodo de 90 minutos dentro del autoclave de los cuales se aplican lo que se denomina pico, los primeros 45 minutos se procede a eliminar el aire y bajar y subir la presión 5, 10 y 15 minutos para finalmente tener un pico a presión constante de 45 psi y una temperatura aproximada de 147 grados centígrados para luego utilizar 15 minutos en cargue y descargue del esterilizador. Se pierde un 1 % en humedad y grasa

◆ **DEFRUTADO:** Luego de haber esterilizado los racimos se procede a separar el fruto del racimo esto se hace en un tambor rotatorio, el fruto se separa para luego enviarlo al digestor por medio de un elevador y el racimo vacío es llevado al campo para utilizarlo como abono orgánico. Se produce el racimo vacío cómo desecho que representa 23 % sobre fruta

◆ **DIGESTIÓN:** El fruto es depositado en un cilindro llamado digestor el cual presenta unas paletas en las cuales va a macerar el fruto por

medio de la agitación circular, además se le aplica vapor a 45 psi, esto ayuda a que las células de aceite se desprendan del fruto y la recuperación del aceite en el momento del prensado sea eficiente.

**Figura 8.**Proceso de extracción de palma de aceite



**Fuente:** <http://www.tecnologiaslimpias.org>

◆ **PRENSADO:** El fruto ya digestado se procede a prensarlo. En esta etapa se le aplica agua a la salida del digestor y en la parte inferior de la prensa con el fin de lavar la fibras y lograr que la extracción del aceite sea lo más eficientemente posible y mantener las pérdidas de aceite dentro de los estándares, además de dar la dilución adecuada para realizar la separación en la sección de clarificación. La eficiencia del prensado depende de dos factores:

1. La presión adecuada aplicada a los conos de los tornillos.
2. Estado de por desgaste de canastas tornillos y conos.

Del prensado se producen dos efluentes uno sólido y otro líquido, el sólido está compuesto por la semilla del fruto y las fibras producidas en el proceso de prensado, el líquido va a ser una mezcla aceite – agua – lodos. Representa 60 % sobre fruta, además se produce 6 % de semilla (4% almendra y 2% de cáscara) el 9 % es fibra.

- ♦ **CLARIFICACIÓN:** El aceite crudo de Palma, proveniente del prensado del mesocarpio del fruto de la palma de aceite contiene cantidades variables de impurezas de tipo vegetal (solubles e insolubles), arena y agua, que deben ser removidos con el fin de dar al producto terminado claridad, estabilidad y buena apariencia, lo anterior se logra mediante el clarificado del licor por decantación y centrifugado.

## 2.4 PALMA DE ACEITE EN COLOMBIA

En 1932, Florentino Claes fue quien introdujo la palma africana de aceite en Colombia y fueron sembradas con fines ornamentales en la Estación Agrícola de Palmira (Valle del Cauca). Pero el cultivo comercial sólo comenzó en 1945 cuando la United Fruit Company estableció una plantación en la zona bananera del departamento del Magdalena. La expansión del cultivo en Colombia ha mantenido un crecimiento sostenido. A mediados de la década de 1960 existían 18.000 hectáreas en producción y hoy existen más de 360.000 hectáreas (a 2010) en 73 municipios del país distribuidos en cuatro zonas productivas.

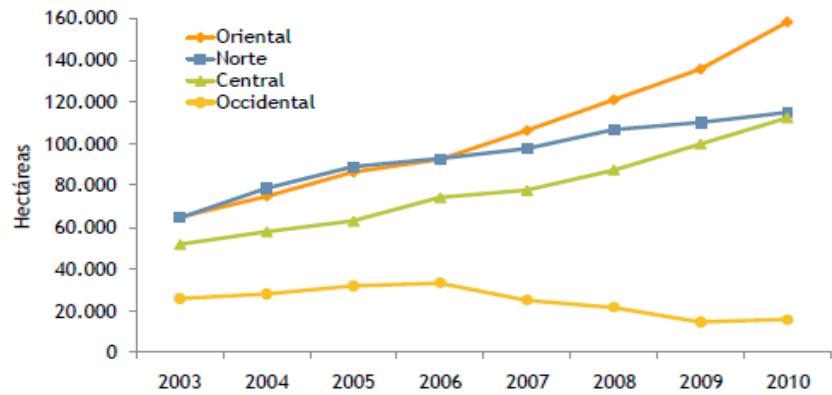
**Tabla 3.** Zonas productivas de aceite de palma en Colombia

Zona	Departamento
Norte	Norte del Cesar, Atlántico, Guajira
Central	Santander, Norte de Santander, sur del Cesar, Bolívar
Oriental	Meta, Cundinamarca, Casanare, Caquetá
Occidental	Nariño

**Fuente:** FEDEPALMA

Los departamentos que poseen más área sembrada en palma de aceite son en su orden: Meta (1), Cesar (2), Santander (3), Magdalena (4), Nariño (5), Casanare (6), Bolívar (7), Cundinamarca (8) y Norte de Santander (9).

**Figura 9.** Evolución de la siembra de palma de aceite por zonas 2003-2010



Fuente: FEDEPALMA

**Figura 10.** Zonas productivas de aceite de palma en Colombia



Fuente: FEDEPALMA

### 2.4.1 Área cultivada y capacidad de las plantas extractoras

En Colombia existen 427.368 hectáreas sembradas con palma de aceite, que permiten una producción anual de 940.00 toneladas de aceite crudo de palma, de las cuales se exportan 126.000 toneladas. Por otra parte, la Federación de Cultivadores de Palma de Aceite (FEDEPALMA) se fijó la meta de alcanzar una producción anual de 3,5 millones de toneladas de aceite de crudo palma para el año 2020.

**Tabla 4.** Área sembrada de palma de aceite en Colombia (Hectáreas)

2011	ORIENTAL	NORTE	CENTRAL	OCCIDENTAL	TOTAL
<b>Sembrada</b>	163.447	124.340	121.221	18.360	427.368
<b>Producción</b>	100.601	92.082	71.206	3.033	266.922
<b>Desarrollo</b>	62.846	32.258	50.015	15.327	106.446

**Fuente:** FEDEPALMA

Según estadísticas de FEDEPALMA al año 2011 en Colombia existían 58 plantas dedicadas a la extracción de aceite de palma.

**Tabla 5.** Capacidad instalada de las plantas extractoras de aceite de palma en Colombia (Toneladas RRF/hora)

Zona	2007	2008	2009	2010	2011	% Participación
<b>Oriental</b>	349	405	420	464	493	39.9
<b>Norte</b>	298	298	361	372	375	30.3
<b>Central</b>	260	280	294	294	312	25.3
<b>Sur occidental</b>	123	127	115	119	57	4.6
<b>Total</b>	1.030	1.09	1.190	1.249	1.236	100

**Fuente:** FEDEPALMA

**Tabla 6.** Distribución por tamaño de las plantas extractoras de aceite de palma (Toneladas RRF/hora).

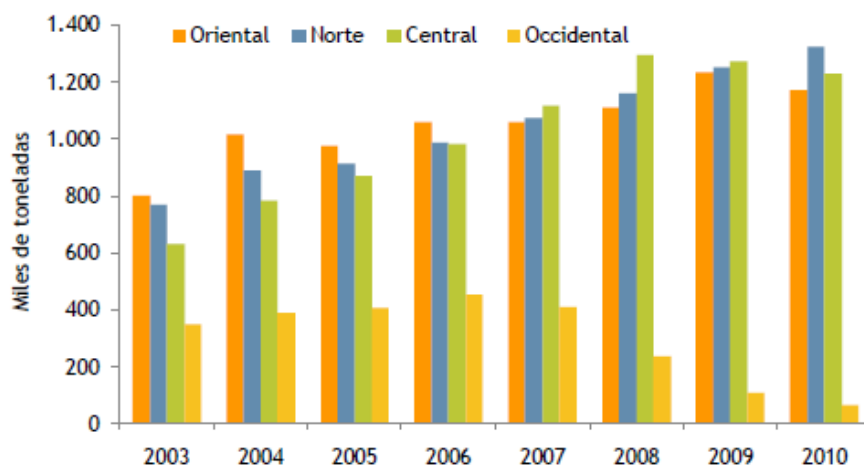
Rango de tamaño	Número de plantas extractoras
De 0 a 5	3
De 5 a 10	11
De 10 a 15	13
De 15 a 25	11
Mayor de 25	20
<b>TOTAL</b>	<b>58</b>

**Fuente:** FEDEPALMA

#### 2.4.2 Producción de aceite de palma

El fruto de la palma de aceite es la base para la extracción del aceite crudo y la almendra de palma o palmiste. La producción del fruto es estacional: la mayor producción se concentra en el primer trimestre del año, con un pico de producción en el mes de marzo. Así, según cifras de 2010, en el primer trimestre se produce cerca de 30% del fruto del año, en el segundo trimestre 26%, en el tercero 23% y en el cuarto aproximadamente 21%.

**Figura 11.** Producción de Fruto de palma de aceite por zonas 2003-2010



**Fuente:** <http://www.fedesarrollo.org.co>

**Tabla 7.**Producción de fruto de palma en Colombia (Toneladas)

ZONA	2009	2010	2011	Participacion %
ORIENTAL	1.232.498	1.169.268	1.677.575	36.7
NORTE	1.249.521	1.312.674	1.526.271	33.4
CENTRAL	1.272.310	1.229.483	1.314.986	28.8
SUR OCIDENTAL	106.913	64.159	50.106	1.1
TOTAL	3.861.232	3.775.585	4.568.937	100

**Fuente:** FEDEPALMA

Con el total de hectáreas sembradas con palma de aceite en Colombia se producen alrededor de un millón de toneladas de aceite crudo de palma al año a continuación podemos ver el comportamiento creciente de la producción de aceite de palma en los últimos años.

**Tabla 8.**Producción de aceite crudo de palma en Colombia (Toneladas)

ZONA	2009	2010	2011	Participacion %
ORIENTAL	261.220	245.814	353.293	37.8
NORTE	252.866	249.973	305.704	32.5
CENTRAL	271.988	246.294	273.539	29.1
SUR OCIDENTAL	18.764	11.075	8.302	0.9
TOTAL	804.338	753.156	940.838	100

**Fuente:** FEDEPALMA

### 2.4.3 Rendimiento de la extracción de aceite de palma

Como sabemos no podemos extraer el cien por ciento del aceite que contiene el fruto de la palma. En el proceso de extracción se trata de tener el menor porcentaje de pérdida de aceite para mejorar el rendimiento de la planta extractora. Una forma de calcular el rendimiento la extracción de una planta es dividir las toneladas de aceite crudo extraído sobre las toneladas de fruto fresco de palma que ingresan al proceso, en la siguiente tabla podemos ver el rendimiento de extracción por zona en Colombia en el periodo de 2009 a 2011. Otra forma de ver el rendimiento de la producción es calcular la tasa de

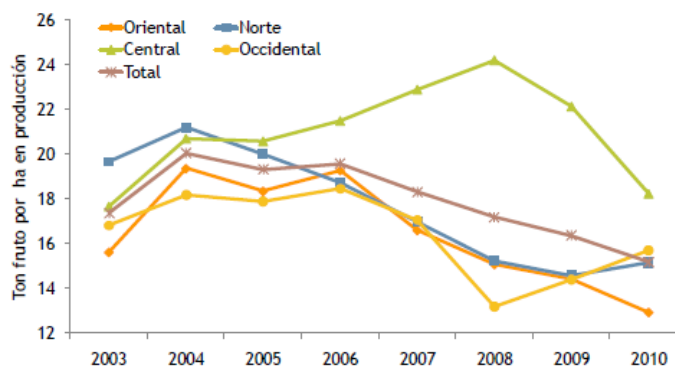
producción de fruto de palma por hectárea sembrada en la siguiente figura podemos ver dicho comportamiento durante los últimos años.

**Tabla 9.**Rendimiento de la extracción de aceite crudo en Colombia (%)

ZONA	2009	2010	2011
ORIENTAL	21,19	21,02	21,05
NORTE	20,23	19,04	20,02
CENTRAL	21,37	20,03	20,80
SUR OCIDENTAL	17,55	17,26	16,56
TOTAL	20,83	19,94	20,59

**Fuente:** Autor

**Figura 12.**Rendimiento de producción de fruto de palma por hectárea



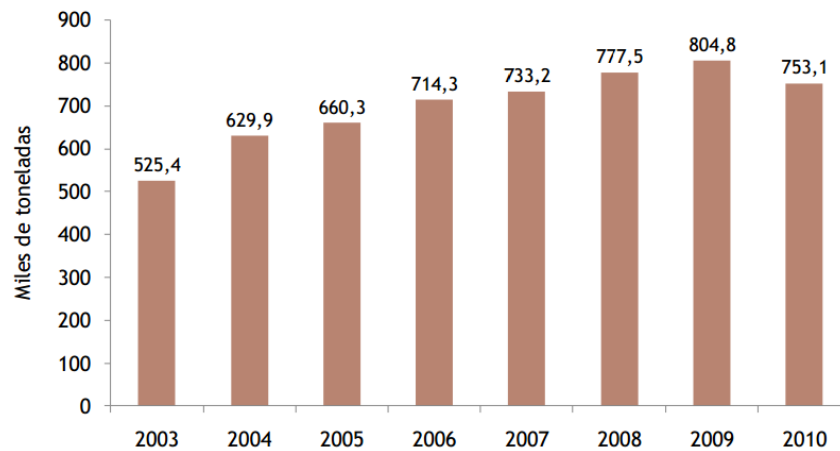
**Fuente:** <http://www.fedesarrollo.org.co>

## 2.5 MERCADO DE LA PALMA DE ACEITE

La mayor parte de la demanda nacional de aceites y grasas es abastecida por la producción de aceite de palma, cuyo cultivo, ha crecido notablemente en el país en los últimos años. El crecimiento de los mercados internacionales de grasas y aceites y el dinamismo de la demanda de biocombustibles han permitido una

inserción exitosa de las exportaciones de aceite de palma colombiano en algunos mercados externos.

**Figura 13.** Producción de aceite crudo de palma en Colombia



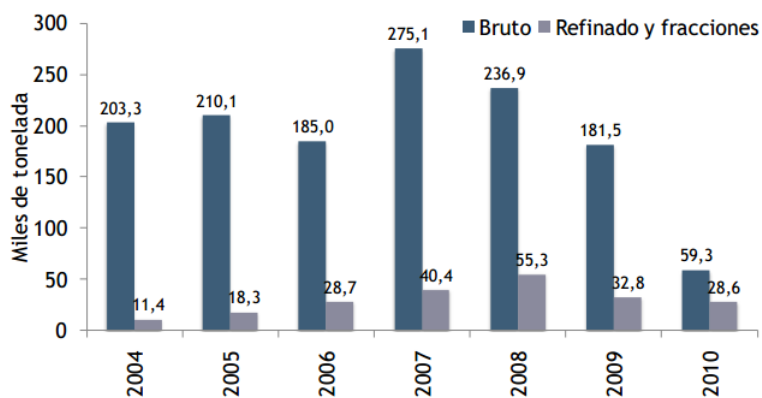
**Fuente:** <http://www.fedesarrollo.org.co>

Colombia es el quinto productor mundial de aceite de palma y el primero en Latinoamérica. Existe un gran potencial para el desarrollo de la palma de aceite en Colombia, razón por la cual el gobierno nacional se ha fijado como meta para el 2020 contar con un millón de hectáreas sembradas para producir 3.4 millones de toneladas de aceite de palma.

La creciente demanda por biocombustibles ha redoblado el interés por este producto. En la actualidad, Colombia ha desarrollado una infraestructura de exportaciones de aceite crudo hacia Europa, debido a que el consumo nacional no absorbe la totalidad de la producción de aceite crudo de palma, que se utiliza principalmente para la producción de margarinas y productos sólidos, debiendo importar sus faltantes de oleína de palma para la producción de aceites líquidos. El gobierno nacional está regulando el mercado interno de biodiesel, obligando un porcentaje de mezcla de 5% en el diesel tradicional. Esta nueva demanda será

sin duda un componente importante del negocio de la palma de aceite pero no absorberá todo el crecimiento previsto. En consecuencia, el país seguirá siendo un exportador importante del aceite de palma.

**Figura 14.** Evolución de las exportaciones de aceite de palma en bruto, refinado y fracciones



Fuente: <http://www.fedesarrollo.org.co>

**Tabla 10.** Producción de Biodiesel a partir de palma de aceite.

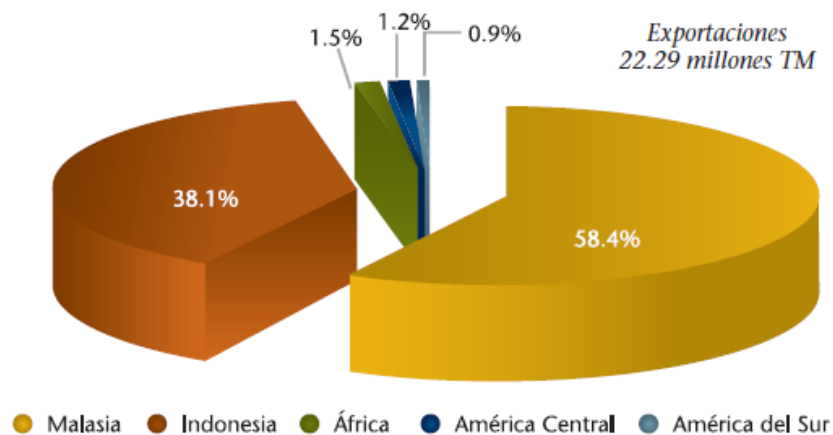
Zona	Planta	Producción (Lts/día)	Capacidad instalada (Ton/año)	Área sembrada (ha)	Fecha entrada en operación	Aceite de palma (Ton)*
Codazzi– Cesar	Oleoflores	169.000	70.000	15.555	Ene-08	66.667
Santa Marta-Magdalena	Odin Energy	121.000	36.000	8.000	Jun-08	34.286
Facatativa - Cundinamarca	Bio D	337.000	100.000	22.222	Feb-09	95.238
Santa Marta-Magdalena	Biocombustibles Sostenibles del Caribe	337.000	100.000	22.222	Mar-09	95.238
San Carlos de Guaroana-Meta	Aceite Manuelita	337.000	100.000	22.222	Jul-09	95.238
Barrancabermeja-Santander	Ecodiesel de Colombia	337.000	100.000	22.222	Jun-10	95.238
<b>Total Nacional</b>		<b>1.638.000</b>	<b>506.000</b>	<b>112.443</b>		<b>481.905</b>

Fuente: <http://www.fedesarrollo.org.co>

### 2.5.1 Mercado mundial

El mercado mundial de aceite de palma está dominado por Malasia e Indonesia quienes en conjunto produjeron el 85% de la producción mundial en 2007, cuando Malasia produjo 15'823.000 toneladas de aceite crudo e Indonesia 16'900.000 toneladas. La producción mundial de aceite de palma muestra una tasa de crecimiento anual promedio de 8,36% entre 2001 y 2007.

**Figura 15.** Principales exportadores de aceite de palma del mundo.



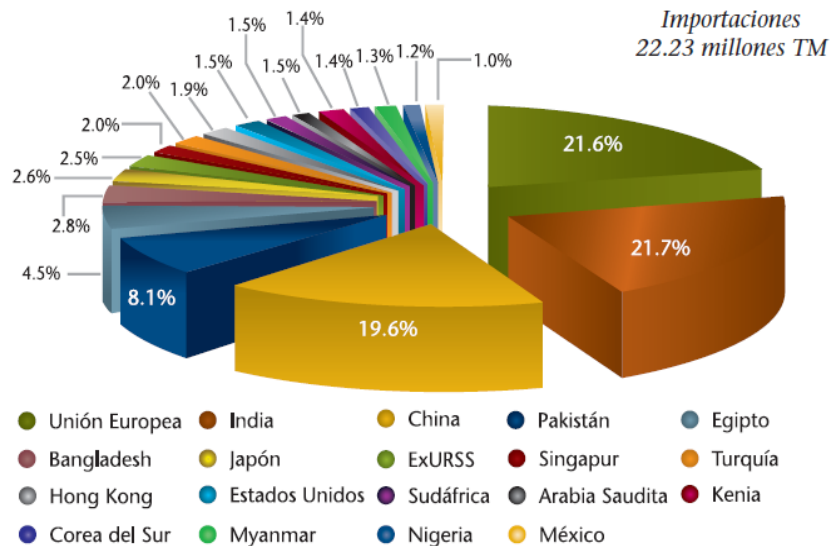
**Fuente:** FEDEPALMA

El área total de tierra cultivada que se utilizó para lograr la producción en Indonesia fue de 3'741.000 hectáreas y en Malasia fueron 4'540.000 hectáreas, en 2007. Nigeria también participa con una porción importante de la producción, con 835.000 toneladas. Colombia ocupa el quinto lugar tanto en la producción mundial de palma de aceite como en la superficie destinada a este cultivo, en ambos casos participa con el 2% aproximadamente.

## 2.5.2 Comercio exterior

Las exportaciones de aceite de palma fueron de 341.875 toneladas en el año 2007, lo que representa un crecimiento anual promedio de 36%. El mayor crecimiento se presentó en las exportaciones de aceite crudo de palma que aumentaron 50.6% entre 2006 y 2007, mientras que las exportaciones de aceite de palma en productos elaborados aumentaron 20.3% en el mismo período. El destino de las exportaciones de aceite de palma colombianas son los países europeos, quienes realizaron una demanda importante del producto, en el año 2007. Reino Unido, Alemania y España, importaron el 24%, 24% y 18% de las ventas colombianas en el exterior, respectivamente. Es importante anotar que las exportaciones colombianas de aceite de palma se benefician del libre acceso en la Unión Europea, gracias a las preferencias otorgadas por el Sistema General de Preferencias, SGP.

**Figura 16.** Principales países importadores de aceite de palma colombiano



**Fuente:** FEDEPALMA.

### **3. PROCESO DE DISEÑO CONCEPTUAL**

#### **3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO**

Diseñar viene del latín “designare” que significa delinear, trazar, planear una acción, concebir, inventar. El diseño de ingeniería se puede definir como “el proceso de aplicar las diversas técnicas y principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización”.

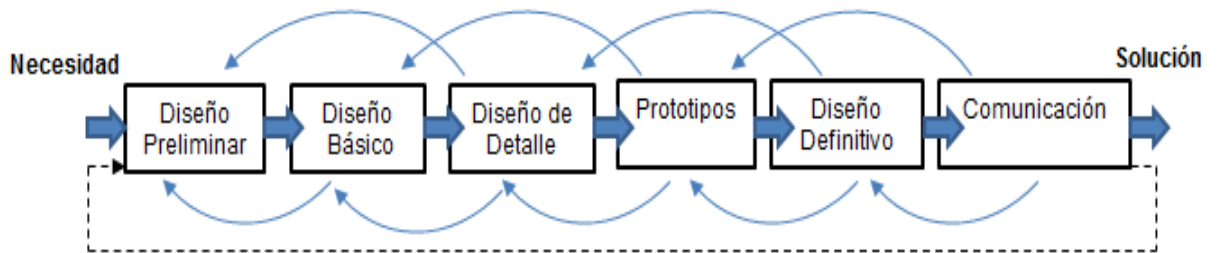
El diseño de ingeniería abarca varios campos, entre ellos el diseño de máquinas. Una máquina puede definirse como un conjunto de unidades interrelacionadas llamadas elementos de máquina, que están dispuestas con el objeto de transformar movimientos y fuerzas para llevar a cabo un proceso en particular.

El proceso de diseño de una máquina es una secuencia lógica de pasos que se siguen a partir de ciertos datos de entrada, para obtener la solución más práctica y funcional que satisfaga un problema particular. El proceso de diseño es en esencia un ejercicio de creatividad y aplicación de conocimientos, pero requiere de un método estricto y organizado que facilite la obtención de resultados satisfactorios.

Al hablar de una secuencia de pasos se quiere señalar un orden lógico, pero que no implica una progresión lineal de tareas. De hecho gran parte del proceso es iterativo, es decir, se parten de suposiciones válidas que se prueban, se comparan, se corrigen y se vuelven a probar a través de un ciclo de operaciones, hasta satisfacer las condiciones y requerimientos del problema. En general, el proceso de diseño puede verse como un conjunto de bloques operacionales que

requieren datos de entrada tanto al inicio como durante el proceso, y generan resultados, que son a su vez entradas del siguiente paso.

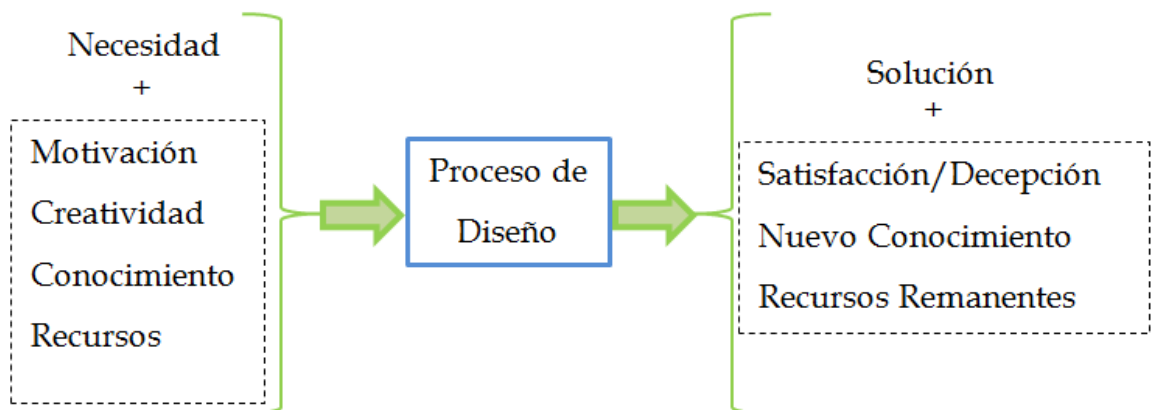
**Figura 17.** Etapas del proceso de diseño



**Fuente:** Autor.

El proceso de diseño también requiere de elementos adicionales muy propios de las personas que llevan a cabo esta labor. Estos elementos no son indispensables pero si facilitan la obtención de soluciones satisfactorias y en menor tiempo cuando se afrontan problemas de diseño en ingeniería.

**Figura 18.** Requerimientos y resultados del proceso de diseño.



**Fuente:** Autor.

### **3.1.1 Pasos Del Proceso De Diseño**

#### **Diseño Preliminar**

- ✓ Planteamiento inicial de la necesidad.
- ✓ Revisión del estado del arte del problema.
- ✓ Recolección de datos cuantitativos y cualitativos.
- ✓ Definición del problema.

#### **Diseño Básico**

- ✓ División en subsistemas.
- ✓ Planteamiento de alternativas de solución de subsistemas.
- ✓ Selección de alternativas de solución.
- ✓ Integración de subsistemas.

#### **Diseño De Detalle**

- ✓ Selección de elementos comerciales.
- ✓ Síntesis y análisis de piezas manufacturadas.
- ✓ Integración de elementos y subsistemas.
- ✓ Planos de ensamble y de taller.

#### **Prototipos & Pruebas**

- ✓ Prototipos: virtuales (CAD 3D, CAE, CAM) y reales.
- ✓ Pruebas estáticas y dinámicas.
- ✓ Retroalimentación.

#### **Diseño Definitivo**

- ✓ Planos definitivos: detalle, taller, ensamble y explosión.
- ✓ Diseño de detalles estéticos y especificación de acabados.
- ✓ Construcción de la pieza en serie.

## · **Comunicación**

- ✓ Bitácora de diseño.
- ✓ Memorias de cálculo y planos.
- ✓ Manuales de instalación, operación y mantenimiento.
- ✓ Patente y registro comercial.
- ✓ Catálogos comerciales.

En este y en los capítulos siguientes se trató de llevar el proceso de diseño acorde a esta metodología, cumpliendo en su mayoría cada uno de los pasos que ella sugiere; sin embargo como todo proyecto de diseño es particular y su proceso de diseño es iterativo se omitieron o se agregaron algunos etapas para cumplir con los objetivos del diseño que se trazaron desde un principio.

## **3.2 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)**

### **3.2.1 Requerimientos del consumidor.**

A continuación se presenta la lista de requerimientos manifestados por parte de los interesados en el diseño de la máquina:

- Bajo costo de la maquinaria
- Bajo consumo de energía.
- Repuestos baratos y accesibles.
- Asistencia técnica oportuna.
- Largas jornadas de trabajo.
- Seguridad del operario.
- Fácil de usar.
- Capacitación del personal para usarla.
- Automatización.
- Manual de usuario.
- Poco espacio en planta.
- Fácil montaje y desmontaje.
- Bajo desgaste en las piezas.
- Alto rendimiento extracción de aceite.
- Alta capacidad de procesamiento de materia prima.

### 3.2.2 Organización de requerimientos

Los requerimientos se agruparon en subgrupos de acuerdo a sus relaciones:

- **Construcción:**
  - Bajo costo de la maquinaria.
  - Largas jornadas de trabajo.
  - Capacidad de producción
  - Poco espacio en planta.
  - Alto rendimiento de extracción de aceite
  
- **Operación:**
  - Bajo consumo de energía
  - Fácil de usar.
  - Seguridad del operario.
  - Automatización.
  
- **Mantenimiento:**
  - Repuestos baratos y accesibles
  - Fácil montaje y desmontaje
  - Bajo desgaste en las piezas
  
- **Asistencia técnica:**
  - Asistencia técnica oportuna.
  - Manual de usuario.
  - Capacitación del personal para usarla.

**Tabla 11.**Despliegue de la función calidad.

		Bajo costo de maquinaria	Bajo consumo energetico	Trabajo continuo de 8 a 15 horas/dia	Capacidad de 14 a 16 ton /hora	Acopiable a digestor de 3500 L/hora de capacidad	50% de rendimiento de extraccion de aceite	Presion de trabajo constante	Control automatizado	Adicion de agua caliente para mejorar fluidez del aceite extraido	Diseño modular	Facilidad de mantenimiento	Facil obtencion de repuestos	Seguridad para el operario	Manual de operación y mantenimiento	Diseño estetico	Inclusion de parada de emergencia
Bajo Costo de maquinaria	15	9 135	9 135	3 45	3 45	1 15	1 15	3 45	9 135	1 15	1 15	3 45	9 135	1 15	1 15	1 15	1 15
Bajo consumo de energia	14	9 126	9 126	9 126	9 126	1 14	1 14	1 14	3 42	1 14	1 14	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Largas jornadas de trabajo	13	3 39	9 117	9 117	3 39	1 13	3 39	3 39	3 39	1 13	0 0	3 39	3 39	3 39	0 0	0 0	0 0
Alto capacidad de procesamiento de materia prima	12	9 108	9 108	3 36	9 108	9 108	3 36	3 36	1 12	1 12	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Alto rendimiento de extraccion de aceite	11	3 33	3 33	3 33	9 99	9 99	9 99	9 99	3 33	1 11	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Bajo desgaste de las piezas	10	9 90	3 30	3 30	3 30	3 30	3 30	3 30	3 30	1 10	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Repuestos baratos y accequibles	9	9 81	1 9	1 9	1 9	1 9	1 9	1 9	1 9	1 9	9 81	9 81	9 81	1 9	9 81	0 0	0 0
Automatizacion	8	9 72	9 72	3 24	3 24	1 8	3 24	9 72	9 82	1 8	0 0	3 24	3 24	3 24	3 24	0 0	0 0
Poco espacio en planta	7	9 63	0 0	3 21	9 63	3 21	1 7	1 7	3 21	3 21	9 63	3 21	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Facil montaje y desmontaje	6	1 6	1 6	1 6	1 6	1 6	1 6	1 6	1 6	1 6	9 54	9 54	3 18	3 18	9 54	0 0	0 0
Seguridad-Riesgo minimo para el operario	5	1 5	1 5	1 5	1 5	1 5	1 5	1 5	3 15	1 5	3 15	9 45	0 0	9 45	9 45	0 0	9 45
Facil de usar	4	0 0	0 0	3 12	1 4	0 0	0 0	0 0	9 36	0 0	0 0	9 36	0 0	9 36	9 36	0 0	0 0
Capacitacion a personal para usarla	3	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	9 27	0 0	0 0	9 27	3 9	9 27	9 27	0 0	0 0
Manual de usuario con plan de mantenimiento	2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	9 18	0 0	0 0	9 18	9 18	9 18	9 18	0 0	0 0
Garantia-Asistencia tecnica oportuna	1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	3 3	0 0	0 0	3 3	3 3	3 3	3 3	0 0	0 0
<b>Total</b>		<b>758</b>	<b>641</b>	<b>464</b>	<b>558</b>	328	284	362	<b>508</b>	124	242	393	327	234	303	15	60

Fuente: Autor.

**La matriz calidad nos arroja los siguientes cinco criterios de diseño:**

1. Bajo costo de maquinaria.
2. Bajo consumo energético.
3. Capacidad de 14 a 16 ton/hora de fruto desgranado de palma.
4. Control automatizado.
5. Facilidad de mantenimiento.

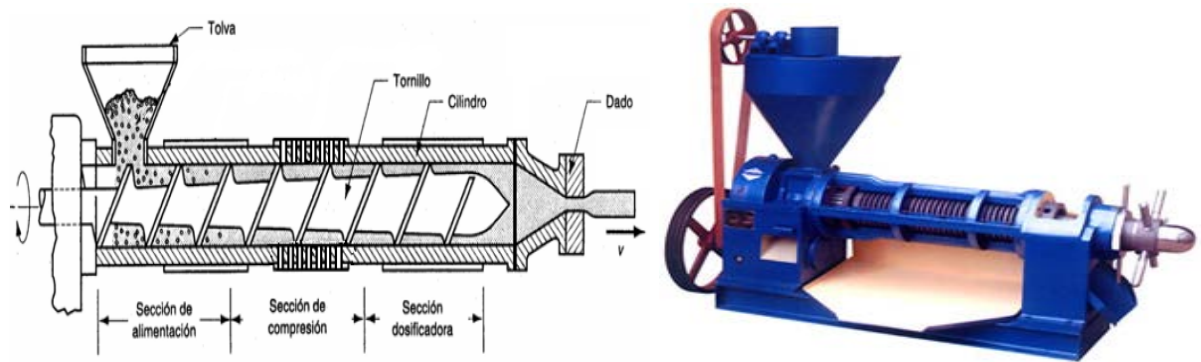
### 3.3 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

A continuación se plantearán varias posibilidades de solución basados en los criterios de diseño obtenidos de la función calidad y que están enfocados a satisfacer los requerimientos de los clientes interesados en el diseño de la máquina.

#### 3.3.1 Primera alternativa de diseño

##### 3.3.1.1 Prensa tipo expeler de tornillo simple

**Figura 19.** Prensa tipo expeler de tornillo simple



**Fuente:** <http://www.oil-expellers.com>.

El expeler de tornillo simple consiste en un solo husillo que gira libremente dentro de un cilindro, barril o camisa; estos dos elementos interactúan a manera de una bomba elevando la presión de la mezcla, extrayendo el aceite y drenándolo a través de las ranuras u orificios y liberando la torta por medio de un agujero llamado dado.

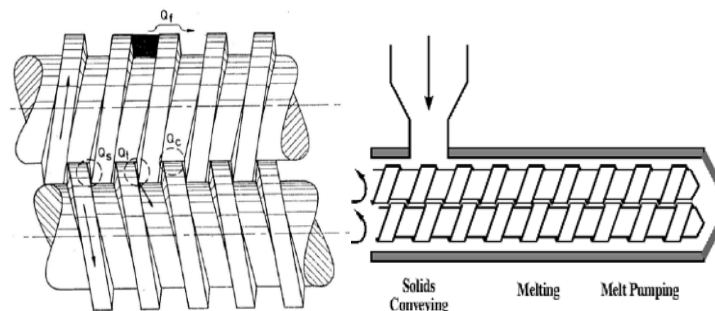
Para elevar la presión en un tornillo simple existen variaciones de geometría que influyen directamente en el comportamiento de la mezcla mientras permanece

dentro del cilindro, además la forma del tornillo también influye en la potencia requerida para la extrusión y por ende en el calor generado en el proceso, dado que gran parte de la energía se libera en calor.

### 3.3.2 Segunda alternativa

#### 3.3.2.1 Prensa continua de doble tornillo sin fin

**Figura 20.** Prensa continua de doble tornillo sin fin



**Fuente:** Autor.

Un prensa de doble tornillo consiste en dos husillos que giran ya sea en el mismo sentido o en sentido contrario, dentro de una misma camisa, esto permite una mejor mezcla de material y una mejor eficiencia en lo que respecta a la energía mecánica de entrada, sin embargo el diseño es bastante complejo en función de que teóricamente existen diferentes disposiciones de operación de los mismos, incluso existen modelos teóricos que en la realidad son difíciles de explicar. En el diseño de estos tornillos la geometría variable no es posible dado que los dos tornillos deben ser solidarios entre sí, es decir, no se podría tener configuraciones cónicas en este tipo de expeler.

Al tener un expeler de este tipo, hay varias restricciones conocidas: a más de necesitar un sistema motriz único se requiere una disposición compleja en el

mecanismo motriz de ambos ejes, ya que los dos giran al mismo tiempo; además la posibilidad de tener dos tornillos duplica el costo de la máquina primero porque se necesita construir dos tornillos y segundo porque la camisa contenedora debe tener una disposición particular a la forma de los tornillos.

### 3.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Para decidir cuál alternativa es más conveniente para el diseño se realizó una ponderación para evaluar el comportamiento de cada alternativa con respecto a los criterios demandados por los consumidores en la matriz calidad.

**Tabla 12.**Matriz de ponderación.

Criterios de evaluación	de	Parámetros	Ponderación	Alternativas			
				Alternativa 1		Alternativa 2	
				Nota	Ponderación	Nota	Ponderación
Bajo costo	0.26	Pocas piezas	0.13	5	0.65	4	0.52
		Materiales económicos	0.13	4	0.52	4	0.52
Bajo consumo energético	0.22	Motor eléctrico	0.11	5	0.55	5	0.55
		Poca fricción	0.11	5	0.55	4	0.44
Alta capacidad	0.19	Compacta	0.19	4	0.76	5	0.95
Control automatizado	0.17	Presión constante	0.1	4	0.4	5	0.5
		Rendimiento deseado	0.07	4	0.28	5	0.35
Facilidad de mantenimiento	0.16	Repuestos accesibles	0.1	4	0.4	5	0.5
		Bajo costo mantenimiento	0.06	5	0.3	4	0.24
<b>Total</b>				4.41		4.57	

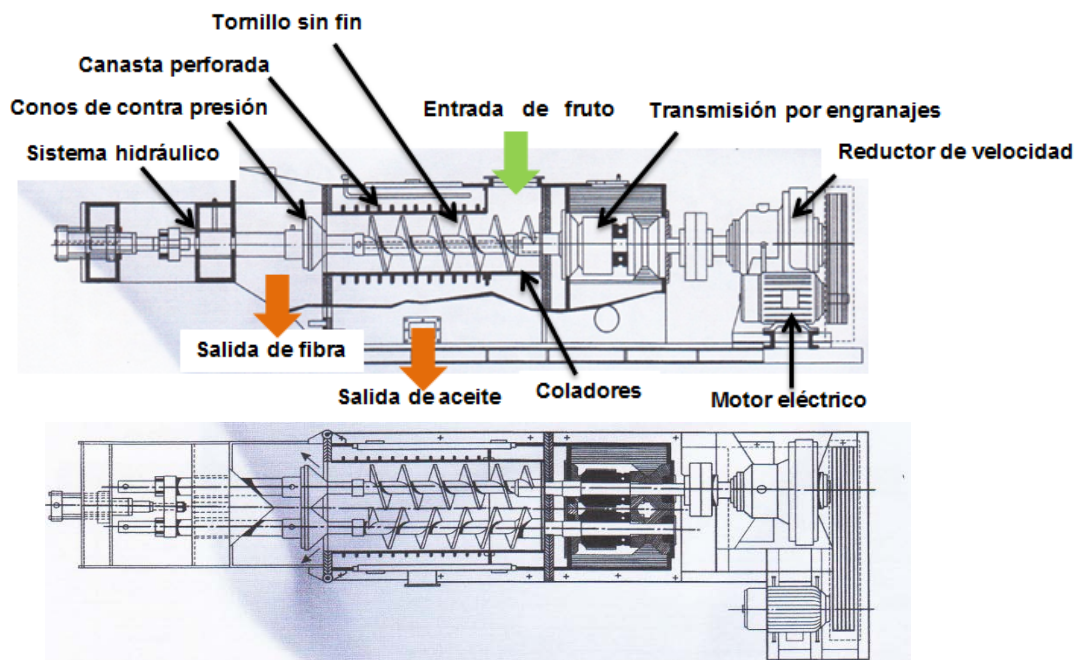
**Fuente:** Autor.

### 3.5 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA GANADORA

La alternativa ganadora fue la número 2 esta alternativa implementara los parámetros de los criterios de evaluación que fueron descritos en la matriz de ponderación. Estas son algunas de sus características:

La masa digerida de fruto desgranado de palma pasa a través de una tolva de descarga desde el digestor a la prensa, donde tiene lugar un primer drenaje del aceite crudo a través de las láminas perforadas (Coladores). La temperatura de entrada de la masa de fruta tiene que estar entre 85°C a 95°C, pudiendo controlarse por medio de un termómetro.

**Figura 21.** Descripción de la alternativa ganadora.



**Fuente:** Autor.

Las prensas de tornillos sin fin continuas están compuestas por una canasta perforada horizontal de forma cilíndrica doble y por dos tornillos del tipo de sinfín. Los tornillos sinfín son de paso regresivo y van girando paralelamente en sentido

contrario. La masa de fruta es transportada por los sinfines hacia la descarga de la prensa (conos), y es sometida a compresión y prensado. La contrapresión la ejerce cada tornillo, el uno contra el otro mutuamente. El aceite crudo desprendido escapa por las perforaciones que se encuentran a todo lo largo de la canasta de prensado, siendo evacuado seguidamente con la ayuda de la inyección de agua caliente. A través de la abertura entre la descarga de la prensa y el cono es evacuada de la prensa la masa de fibra a la que se ha extraído el aceite (la llamada torta de prensado) pudiendo ser conducida entonces, a un tornillo transportador rompe torta.

La presión la mantiene la unidad hidráulica. De esta forma, el cono puede ser accionado por impulsos y se puede graduar la abertura de la descarga de la prensa según se desee

## 4. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA

### 4.1 LA ESTACIÓN DE PENSADO

Los racimos de palma se transportan a la planta extractora, se almacenan y se descarga en vagonetas para su posterior esterilización en autoclaves con vapor saturado, después se pasan al proceso de desfrutado en donde tiene lugar la separación del raquis de los frutos esterilizados.

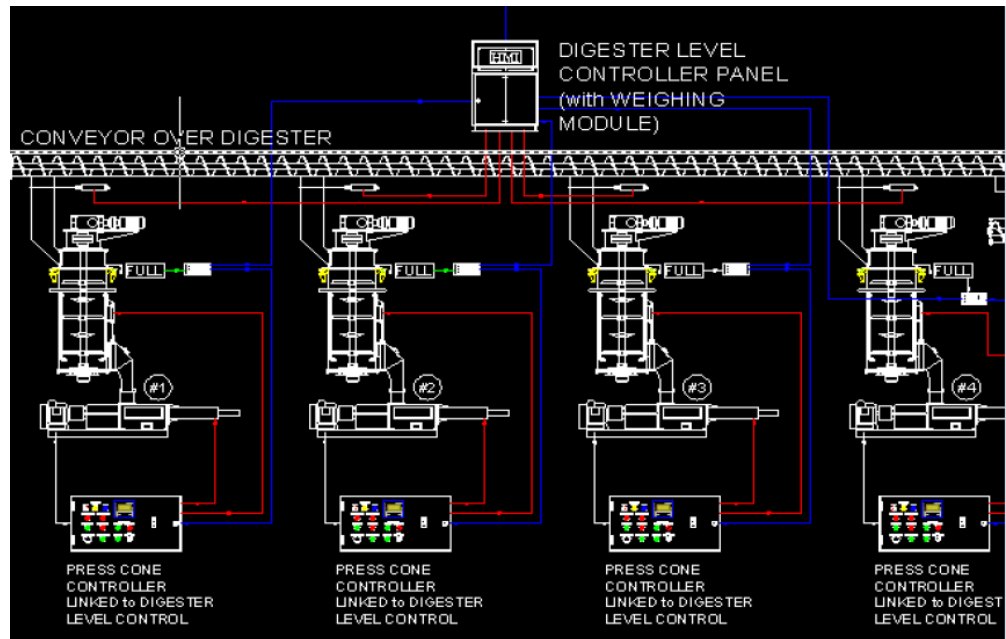
**Figura 22.** Estación de prensado



**Fuente:** FEDEPALMA.

Después de que los racimos han sido desfrutados, los frutos son recalentados y la pulpa es desprendida de las nueces y macerada preparándose para la extracción por prensado. Esta etapa se denomina digestión y se efectúa en recipientes cilíndricos verticales provistos de un eje central con brazos de agitación y maceración.

**Figura 23.**Diagrama de montaje estación de prensado



**Fuente:**<http://www.eaton.com>

La pulpa, también llamada mesocarpio, tiene un espesor que varía entre 4 y 8 mm de acuerdo con la variedad de fruto; posee una corteza externa que la cubre y está conformada por un gran número de celdas minúsculas. Estas celdas son de forma irregular, contienen aceite y están pegadas entre sí, por medio de un cemento intercelular (una especie de almidón) y a un esqueleto de fibras duras.

Este cemento es soluble sólo en agua muy caliente (95 – 100°C) y por lo tanto, el conjunto se puede desintegrar en grupos de celdas de aceite y material fibroso en la medida en que el cemento se disuelva.

**Figura 24.** Composición fibrosa del mesocarpio del fruto de palma

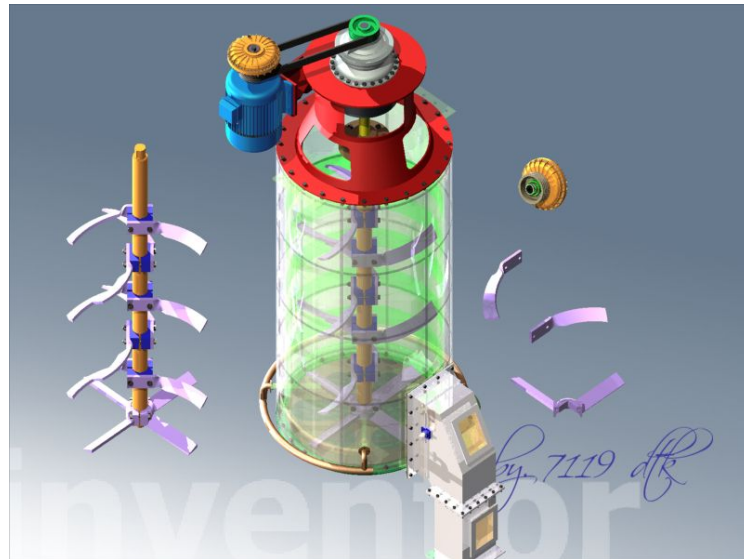


**Fuente:** <http://www.infoagro.com>

El aceite calentado en el digestor reduce considerablemente su viscosidad y así se facilita su extracción (en esa forma tiene mayor circulación a través de los pequeños espacios llamados capilares) dentro de la torta en proceso de prensado.

Para reducir la cantidad residual de aceite en las fibras, se acostumbra agregar agua a la masa de frutos digerida en la descarga del digestor. Esta actuará como un medio hidráulico para ayudar a empujar el aceite dentro de los espacios que quedan en el material que se está prensando. Dicha agua no debe agregarse al digestor mismo por el riesgo que se corre de que ella se emulsifique con el aceite, aumentando las pérdidas en las aguas lodosas de desecho. Se agrega el bajante de la prensa después de la caja de separación de aceite “virgen” (aquel que se ha separado dentro del digestor antes de la presión)

**Figura 25.**Digestor



**Fuente:** <http://www.tengbot.com>

Por la acción agitadora y de maceración del digestor, las paredes de las celdas que contienen el aceite tienden a romperse, de tal manera que, el aceite se suelta espontáneamente y puede ser fácilmente expulsado fuera de las celdas rotas durante el proceso de extracción por presión.

El aceite liberado en el digestor desciende a la parte inferior del recipiente y se procura separarlo de la masa de frutos a través de una caja con láminas perforadas, ubicada en el conducto de descarga, por medio de una tubería (aceite virgen).

Si el aceite crudo liberado de las celdas en el digestor no se removiera, éste actuaría como un lubricante, haciendo que los brazos maceradores perdieran su agarre y entonces, un gran número de celdas de aceite no serían rotas y luego,

durante el prensado, algunas de ellas, probablemente no estallarían a pesar de la presión ejercida.

En el prensado se separa el aceite de la fibra y nuez (Torta), el aceite se transporta hacia el tanque de aceite bruto y después a los clarificadores donde se sedimenta por gravedad, el aceite sobrante se pasa al secador y después a los tanques de aceite terminado, el lodo liviano se pasa por deslodadoras para recuperar el aceite de esa capa intermedia y la del fondo que se forman en los clarificadores. Este es recuperado, secado y almacenado en los tanques de aceite terminado.

**Figura 26.**Torta de prensado



**Fuente:** Autor.

Por otro lado el agua, las impurezas, el lodo de las deslodadoras y los condensados de esterilización son bioremediados por medio de bacterias metanógenas en las lagunas de oxidación. La torta que sale de las prensas se separa por medio de una columna neumática. La Nuez entera, el cuezco de nuez y la nuez rota y la fibra, esta última se transporta hacia las caldera para alimentarlas como combustible, la nuez es llevada a los silos de almacenamiento que dosifican los

molinos de nuez de donde se obtiene la almendra de palma que es llevada a otro proceso para obtener aceite de palmiste.

**Figura 27.**Licor de prensa



**Fuente:** FEDEPALMA

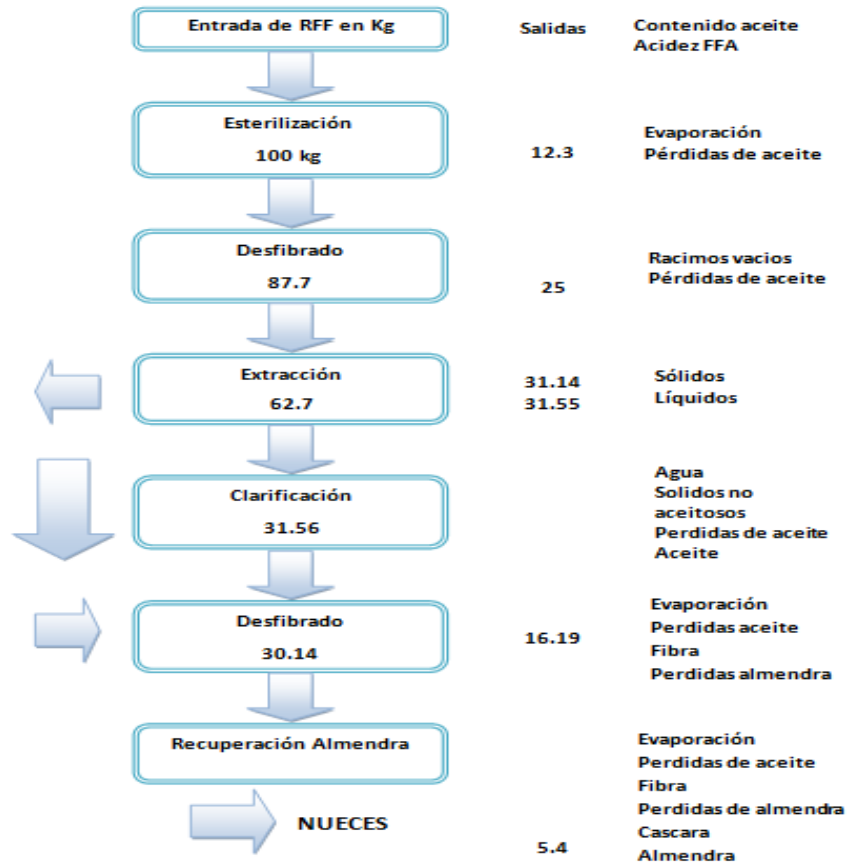
#### **4.2 PROCESO DE PRENSADO**

Con la etapa de prensado se busca extraer la fracción líquida de la masa de frutos que sale del digestor y que está compuesta por aceite de pulpa de palma, por agua y por una cierta cantidad de sólidos que quedan en suspensión en el agua y separarla de la masa desaceitada (torta) la cual está compuesta por fibra y nueces.

La fruta proveniente del desfrutado, pasa a los digestores que completan el rompimiento de las celdas de aceite con brazos que se mueven lentamente. Los digestores pueden tener una capacidad superior a  $3 m^3$ .

La masa de frutos pasa luego a la prensa de tornillos que presiona el aceite crudo a través de agujeros en la pared de la camisa de la prensa. La torta prensada, que es descargada por el extremo de la prensa, contiene la fibra y las nueces.

**Figura 28.**Flujo de masa y pérdidas durante el proceso de extracción de aceite de palma



**Fuente:** Autor.

Los tres productos separados en esta sección son:

- A. El aceite crudo que está conformado por agua, lodo y aceite. Este pasa a la sección de clarificación.
- B. Nueces: 15 % de los RFF. Son separadas por el desfibrador y en la sección de almendras para la recuperación de las almendras.

C. Fibras: aproximadamente el 5% del peso de los RFF, con un contenido de humedad del 37%. El contenido de aceite residual se encuentra entre 6 y 8% de aceite sobre fibra seca.

Para facilitar la salida del aceite durante el prensado, se agrega agua caliente, cuya cantidad debe controlarse estrictamente para asegurar una buena extracción por una parte y además, para obtener una adecuada dilución del aceite crudo, de modo que se facilite su clarificación posterior.

La fibra debería retener tanto como sea posible los fosfatidos y otras impurezas no glicéridos. La fibra separada en el sistema desfibrador es transportada a la caldera como combustible.

**Figura 29.** Salidas del proceso de prensado



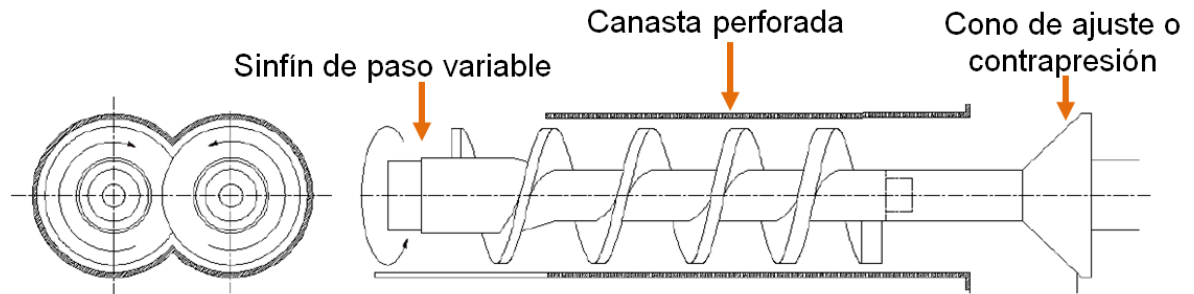
**Fuente:** FEDEPALMA.

### **4.3 MECANISMO DE PRENSADO**

El mecanismo de prensado utilizado en las prensas continuas tipo expeler consisten básicamente en dos tornillos sin fin de paso variable que giran solidariamente en sentido contrario, una canasta perforada en la cual van alojados

los dos tornillos sin fin y finalmente dos conos o una placa de contrapresión que se retrae o se extiende mediante la acción de un cilindro hidráulico para mantener constante la presión de prensado.

**Figura 30.** Mecanismo de prensado para la extracción de aceite de palma



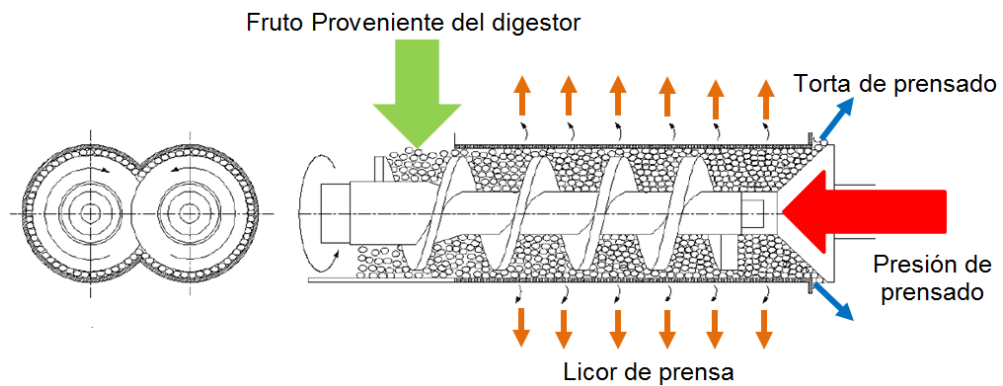
**Fuente:** Autor.

El principio de funcionamiento de este mecanismo es sencillo. El fruto de palma macerado ingresa por la parte superior de la prensa y cae directamente a la zona de alimentación de los tornillos sin, los cuales permiten una mejor mezcla del material y una mejor eficiencia en lo que respecta a la energía mecánica de entrada. Conforme el material avanza a lo largo de los tornillos se va incrementando la presión y con ella se empieza a extraer el aceite de los frutos de palma. El aceite empieza a fluir a través de los orificios de la canasta perforada y el aceite extraído es retirado mediante el agua caliente de dilución que cae sobre la canasta y lleva el aceite hacia el ducto de salida de aceite para su posterior clarificación.

Como ya se mencionó a medida que se extrae Licor de prensa (Aceite palma, lodos, agua) va quedando los residuos del proceso de prensado este residuo se conoce como torta prensado, esta está formada por las fibras y la almendra del fruto de palma que son retiradas de la prensa mediante el giro constante de los

tornillos y salen por el exterior de los conos de contrapresión para pasar luego a los procesos de recuperación de almendra y palmisteria.

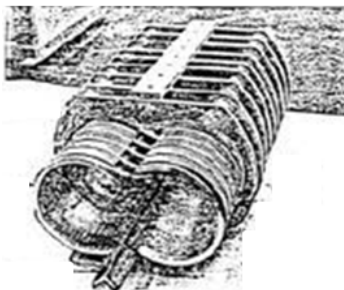
**Figura 31.**Funcionamiento del mecanismo de prensado



**Fuente:** Autor.

En los tornillos sin fin de paso variable la geometría variable no es posible dado que los dos tornillos deben ser solidarios entre sí, es decir, no se podría tener configuraciones cónicas en este tipo de expeler.

**Figura 32.**Canasta perforada para prensa de extracción de aceite de palma

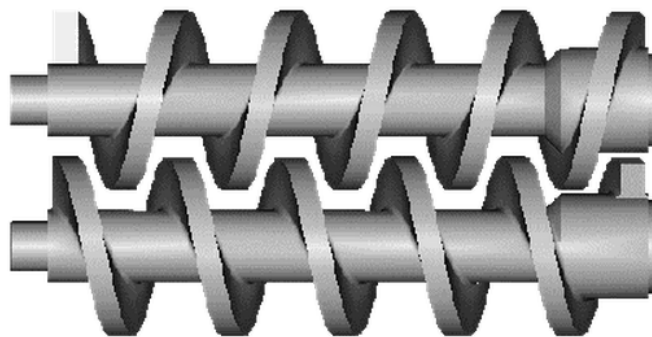


**Fuente:** Manual Wambeck.

Uno de los puntos que más se ha tomado en consideración es el hecho que al tener un expeler de este tipo, hay varias restricciones conocidas: además de

necesitar un sistema motriz único se requiere una disposición compleja en el mecanismo motriz de ambos ejes, ya que los dos giran al mismo tiempo; además la posibilidad de tener dos tornillos duplica el costo de la máquina primero porque se necesita construir dos tornillos y segundo porque la camisa contenedora debe tener una disposición particular a la forma de los tornillos.

**Figura 33.** Tornillos sinfín utilizados para extraer aceite de palma



**Fuente:** <http://dc401.4shared.com/doc/SYMZW3Q3/preview.html>

Las ventajas que tiene este mecanismo respecto a un expeler mono tornillo o un prensa hidráulica vertical son los siguientes.

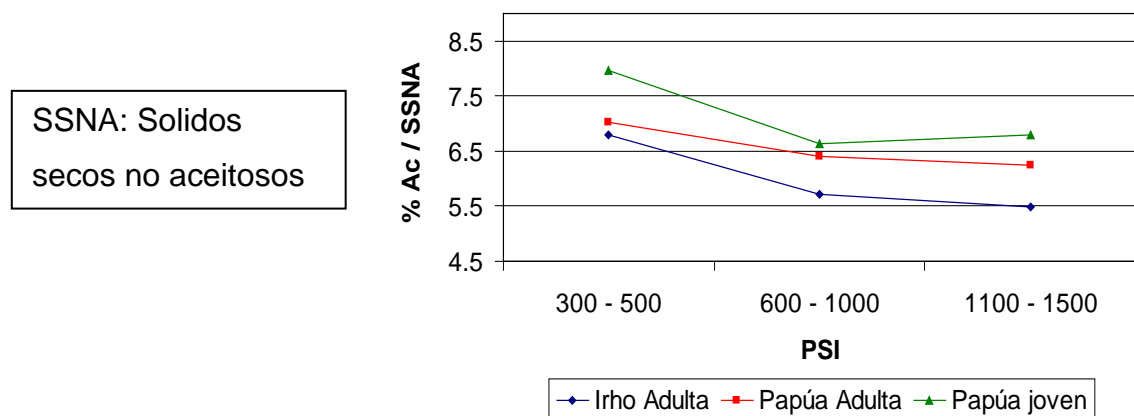
1. Tiene una gran fuerza de compresión para comprimir el fruto de la palma de aceite.
2. Tiene una construcción sólida y robusta. El proceso puede llevarse a cabo en una producción óptima con una larga vida útil.
3. Fácil funcionamiento de la máquina por lo que no requiere mano de obra especializada.
4. Tiene un principio de funcionamiento sencillo para que el tratamiento se puede hacer fácilmente.
5. Alta productividad, debido a que el proceso de producción se lleva a cabo continuamente.
6. El principio de funcionamiento es simple, la producción continua y de alta eficiencia.

#### 4.4 REQUERIMIENTOS Y VARIABLES DEL PROCESO DE PENSADO

La eficiencia de la etapa de prensado se debe medir según las pérdidas de aceite en las fibras y el contenido de nueces rotas en la torta, teniendo en cuenta la presión (ajuste de los conos o placa), la composición del fruto (% de pulpa / % de nueces) y el espesor del cuesco (cáscara que cubre la almendra). Algunas de las relaciones entre estos factores y la pérdida de aceite se describen a continuación:

- El rendimiento en el prensado disminuye al incrementar la presión en las prensas.
- A mayor presión se disminuye la pérdida de aceite en fibra pero aumenta la cantidad de nueces rotas.
- En la medida en que la presión sobre la torta prensada aumenta, las nueces tienden a reunirse dentro de la torta y a transmitir a la fibra la fuerza ejercida por el sistema, pero dejando en la masa de fibras espacios libres entre las nueces que no son afectados suficientemente por la presión. Si el contenido de nueces en la torta aumenta a valores superiores, ocurre un aumento en las pérdidas de aceite y en la proporción de nueces rotas.

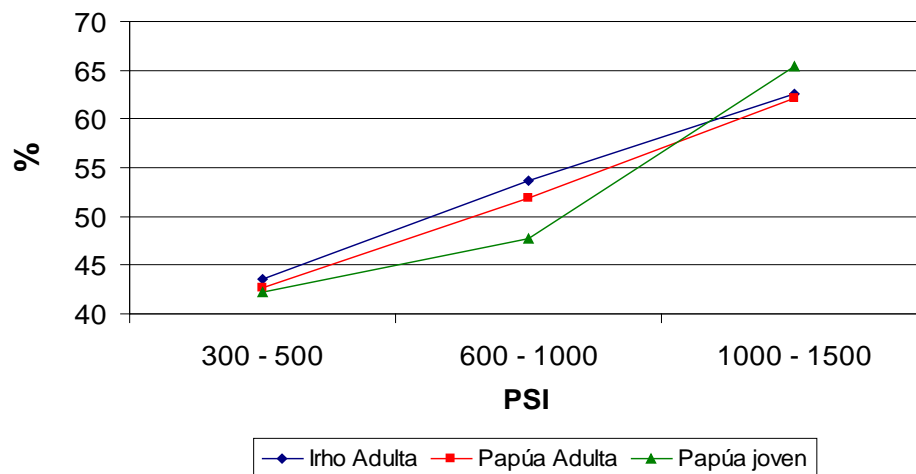
**Figura 34.**Perdidas de aceite en fibra contra presión de prensado



**Fuente:** FEDEPALMA

- Si el porcentaje de nueces en la torta es menor, las pérdidas de aceite también se ven incrementadas, debido a que hay una alta resistencia entre las fibras, lo cual dificulta la transmisión de la presión dentro de la torta. Este fenómeno se presenta generalmente cuando se procesan frutos de cultivos jóvenes, los cuales tienen nueces más pequeñas que los frutos de cultivos adultos (ver Tabla 1). Algunas veces se practica la adición de nueces a la masa de frutos contenida en el digestor, para mejorar la transmisión de la presión dentro de la torta.
- La cantidad de nueces rotas aumenta cuando tienen un espesor de cuesco muy delgado (más frágil).

**Figura 35.** Rompimiento de nuez contra presión de prensado



**Fuente:** FEDEPALMA.

- Con una alimentación inadecuada se obtiene una muy baja capacidad de prensado, en relación con la velocidad de los tornillos de la prensa, incrementando el rompimiento de las nueces.

- La fibra de la torta de prensas está compuesta por un 18% de polvo y un 82% de fibras, aproximadamente. A pesar de que el polvo representa un porcentaje bajo dentro de la torta, el contenido de aceite es mucho mayor que el que se encuentra en la fibra, debido a que estos sólidos son en realidad los residuos de las celdas que contenían el aceite y que se han pulverizado durante la etapa de prensado, por lo tanto, es allí donde se encuentra concentrada la mayor pérdida de aceite en la torta.
- La presión de prensado tiene efectos en la clarificación del aceite en la que contribuyen negativamente los sólidos generados.
- El rendimiento en el prensado disminuye al incrementar la presión en las prensas.
- Operar los digestores a diferentes niveles de llenado afectan la capacidad de la planta hasta en un 20 %. Es recomendable mantener un nivel constante en el digestor.

#### **4.5 DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE PRENSADO**

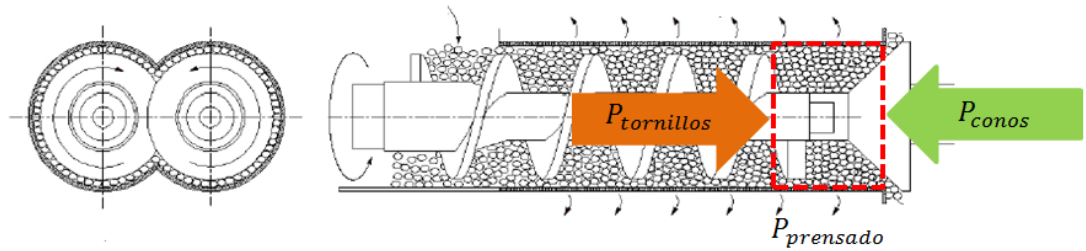
La presión necesaria para poder extraer aceite a partir del fruto de palma requiere ser elevada, ya que por efecto de ésta, las células oleaginosas alojadas en el mesocarpio del fruto comienzan a romperse y logra que el aceite dentro de ellas empiece a fluir. La determinación de la presión de prensado se llevó a cabo mediante la recolección de datos disponibles en la bibliografía. En primera medida se tomaron como referencia los datos arrojados por una investigación realizada por CENIPALMA en la cual se concluye:

- Las prensas de una misma planta no tienen igual eficiencia entre si aunque sean de la misma capacidad debido a que esta depende de factores internos como: la presión de prensado, el nivel de fruto en el digestor, el macerado del fruto del digestor entre otros.
- Es posible establecer márgenes operativos en prensado para ubicar una condición de operación óptima respecto a las pérdidas de aceite y almendra.
- Las presiones de prensado encontradas como óptimas están entre los 300 y 800 PSI.

Con estos datos como referencia se tiene un rango de presiones valido para la realización del proceso de prensado. Como este este rango de presiones es todavía muy amplio se continuo en la búsqueda de una rango más reducido para la realización del diseño de los elementos vitales para el proceso. Basados en un trabajo de grado realizado en Indonesia en el cual se estudia el desgaste en los sinfines de las prensas de extracción de aceite de palma se llegó a que la presión de prensado debe estar en el rango de 30 a 40 bares es decir 430psi a 580psi. Este último dato se tomó como referencia para el diseño de los tornillos sin fin y la canasta perforada ya que es el valor crítico para llevar a cabo el proceso. Se debe mencionar que en la realidad el valor de la presión de prensado se fija de manera experimental de acuerdo al rendimiento de la extracción de aceite. El rendimiento a su vez depende de otras variables como la variedad de la palma y las etapas del proceso previas al prensado, es por eso que no se tiene establecido un único valor de presión para el prensado del fruto de palma.

La presión de prensado es a su vez la suma de dos presiones. Una presión generada por la canasta de prensado al hacerse más reducido el paso del tornillo sin fin y la presión generada por los conos de contrapresión accionados por un cilindro hidráulico

**Figura 36.** Presión de prensado



**Fuente:** Autor.

Con esto se tiene se tiene relación

$$P_{\text{presado}} = P_{\text{tornillos}} + P_{\text{conos}}$$

Como la presión de prensado se debe mantener constante a lo largo del proceso siempre debe haber un equilibrio entre la presión generada por los tornillos y la aplicada por los conos de contrapresión de aquí que se necesite un control del proceso de prensado para cumplir con este requisito.

## **5. SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DE LA MAQUINA**

### **5.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

Las prensas de tornillos sinfín continuas, están compuestas por una canasta perforada horizontal de forma cilíndrica doble y por dos tornillos sinfín paralelos. Los frutos provenientes del digestor son prensados dentro de la canasta por acción de los dos tornillos sinfín de paso regresivo, girando paralelamente en sentido contrario. La contrapresión la ejerce cada tornillo, el uno contra el otro mutuamente y que trabajan además contra unas piezas cónicas o placa de presión colocada en los extremos de la canasta y operadas hidráulicamente con el fin de mantener la presión constante a lo largo de todo el proceso. Cuando la presión ejercida por los tornillos es insuficiente los conos de contra presión son accionados hidráulicamente para que ejerzan más presión y así restablecer la presión constante en el proceso. Inversamente cuando la presión generada por los tornillos es excesiva los conos de presión se retiran para mantener la presión constante. Este proceso se lleva a cabo mediante un lazo de control diseñado para ese fin. Para facilitar la salida del aceite durante el prensado, se agrega agua caliente, para obtener una adecuada dilución del aceite crudo, de modo que se facilite su evacuación de la prensa y su clarificación posterior.

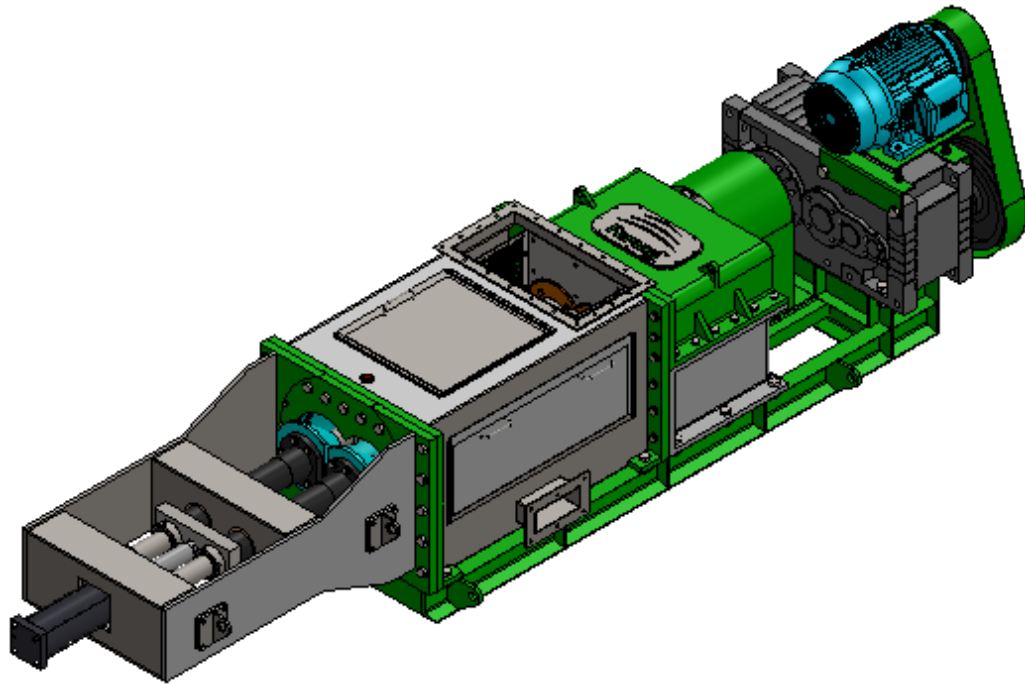
### **5.2 SUBSISTEMAS DE LA MAQUINA**

La prensa continua de doble tornillo sin fin para extracción de aceite crudo de palma está constituida de 5 subsistemas principales

1. Sistema de generación de potencia y torque.
2. Sistema de Transmisión de potencia.
3. Sistema de prensado

4. Sistema hidráulico.
5. Estructura de soporte.

**Figura 37.** Vista general prensa continua para la extracción de aceite de palma

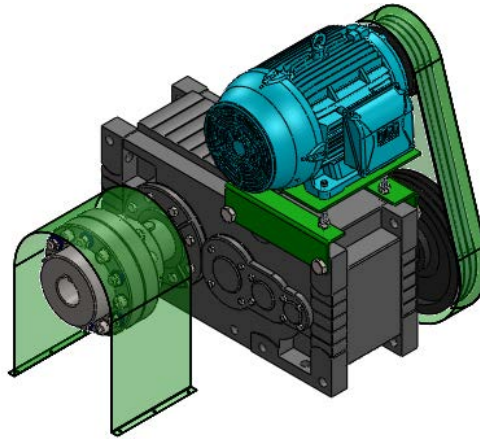


**Fuente:** Autor.

### 5.2.1 Sistema generación de potencia

Este sistema es el encargado de suministrar la potencia necesaria y el torque necesario para llevar a cabo el proceso de prensado. Este sistema se compone básicamente de un motor eléctrico, una primera etapa de reducción de velocidad mediante correas trapecoidales y una segunda etapa de reducción de velocidad mediante un reductor de velocidad para elevar el par de torsión requerido para el proceso y alcanzar la velocidad de rotación de los tornillos requerida para realizar el proceso de prensado.

**Figura 38.** Sistema de generación de potencia y torque



**Fuente:** Autor.

A continuación se hace una descripción de los elementos que componen este sistema y se da una breve explicación de su función.

- ♦ **Motor eléctrico:** Es el encargado de convertir la energía eléctrica suministrada en energía mecánica rotacional para dar movimiento a todos los elementos mecánicos que componen la máquina, esta energía será aprovechada para llevar a cabo el proceso de prensado.
- ♦ **Transmisión por correas trapezoidales:** El proceso de prensado requiere un par muy elevado a bajas revoluciones. El motor eléctrico no nos suministra el par necesario para el proceso y trabaja a altas revoluciones. Por eso se hace necesario el diseño de una transmisión de potencia. Se decidió entonces hacer dicha transmisión en dos etapas la primera mediante correas trapezoidales con el fin de reducir la velocidad de rotación para que el tamaño del reductor de velocidad de la segunda etapa no fuera tan grande.
- ♦ **Reductor de velocidad:** Como se mencionó anteriormente la transmisión de potencia se dividió en dos etapas una de reducción de la velocidad y otra para

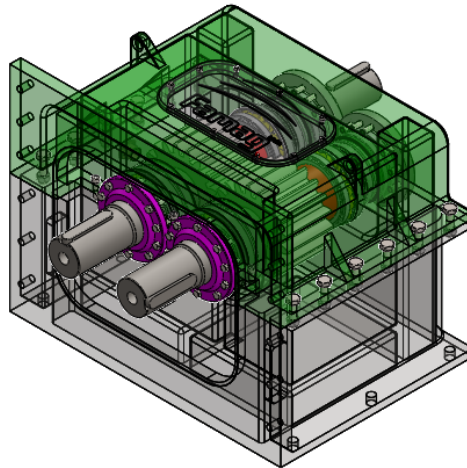
elevant el par de torsión. Para elevar el par de torsión se optó por seleccionar un reductor de velocidad con una relación de transmisión alta que permita obtener un alto torque a muy bajas revoluciones en un mínimo de espacio.

- ♦ **Acople flexible:** Este elemento tiene la función de transmitir la potencia entre el eje de salida del reductor y el eje conductor que accionara los sinfines para llevar a cabo el prensado del fruto.

### 5.2.2 Sistema de transmisión de potencia.

El sistema de transición de potencia es el encargado de dividir la potencia y garantizar que los dos sin fines giren a la misma velocidad y en sentido contrario para garantizar la homogeneidad en la mezcla del fruto de palma, la continuidad en proceso de extracción.

**Figura 39.** Sistema de transmisión de potencia



**Fuente:** Autor.

- ♦ **Transmisión por engranajes:** El mecanismo de prensado consiste en dos sin fines girando solidariamente en sentido contrario. Para lograr este propósito se

debe tener una transmisión por engranajes rectos para que los dos sinfines giren a la misma velocidad y se reparta la potencia y el torque entre los dos para garantizar uniformidad en el prensado.

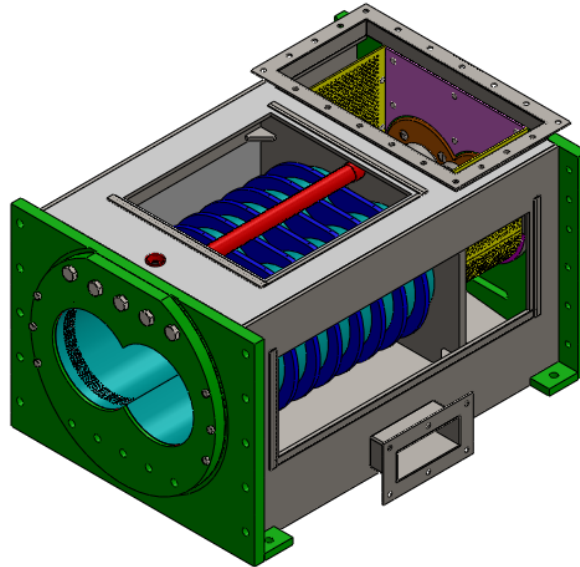
- ♦ **Ejes:** Estos elementos son los encargados de soportar las cargas generadas por los engranajes rectos y los tornillos que son accionados por el movimiento de los ejes cuando la prensa está en funcionamiento.

### **5.2.3 Sistema de prensado**

En esta parte de la máquina es donde se realiza el proceso de prensado. A través de un ducto de alimentación cae el fruto proveniente del digestor y es recibido por los coladores para una primera etapa de extracción; los cuales dejan pasar el aceite que se desprende del fruto de palma que es macerado en el digestor. Seguidamente el fruto es transportado por los sinfines que están alojados dentro de la canasta perforada a medida que el fruto es llevado por los sinfines la presión va aumentando ya que al otro extremo de los sinfines se encuentran los conos de contrapresión los cuales no permiten el paso de fruto lo cual eleva la presión haciendo que el aceite almacenado en el mesocarpio del fruto de palma empiece a correr y se desprenda pasando a través de la canasta perforada para ser recolectado por la lámina inclinada y evacuado hacia el proceso de refinación por el ducto de salida. Los restos del fruto de palma se van amontonando formando la que se llama la torta de prensado. La torta de prensado se compone principalmente de la almendra del fruto de palma que se utiliza para extraer el aceite de palmiste. La torta va saliendo poco a poco de la canasta de prensado según la abertura de los conos de contrapresión que salen o se retrae según la presión de prensado para mantenerla constante para lograr un mejor rendimiento en el proceso de prensado.

A continuación se hace una descripción de los elementos que componen este sistema y algunas de las funciones que cumplen.

**Figura 40.**Sistema de prensado



**Fuente:** Autor.

- ♦ **Ducto de alimentación:** Comunica el digestor con la prensa, facilitando la alimentación de la prensa con fruto desgranado de palma macerado proveniente del digestor para llevar a cabo el proceso de prensado.
  
- ♦ **Coladores:** Son laminas perforadas curvas de acero inoxidable que dejan pasar el aceite desprendido del fruto de palma en el proceso de digestión y se ubican en la sección de alimentación de los sinfines.
  
- ♦ **Sinfines de prensado:** Son dos tornillos sinfines de paso variable que giran a la misma velocidad y sentido contrario, que ayudados por la canasta perforada elevan la presión al fruto para extraer el aceite de palma. Como cualquier tornillo para extrusión constan de una sección de alimentación donde el paso es más grande para facilitar la entrada de materia prima al proceso, una sección de transición donde se eleva la presión, y una sección de prensado donde el paso

del tornillo se reduce considerablemente y el espesor del filete del tornillo aumenta para así incrementar la presión y alcanzar la presión requerida para el proceso.

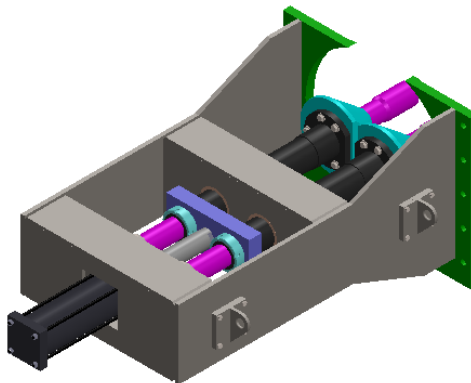
- ♦ **Canasta de prensado:** Es un recipiente perforado en forma de ocho formado por la intersección de dos cilindros en los cuales van alojados los dos tornillos sin fin. El movimiento constante de los sinfines eleva la presión dentro de la canasta perforada haciendo que por ella pase el aceite desprendido del fruto debido al incremento de la presión.
- ♦ **Ducto de salida de aceite:** Una vez el aceite pasa a través de la canasta perforada cae a una lámina inclinada donde es recolectado y conducido hacia la tolva de salida de aceite, esta comunica la prensa con un ducto encargado llevara el aceite crudo de palma hacia su posterior proceso de clarificación.
- ♦ **Ejes de alargadera:** Se ubican dentro de los tornillos para dar soporte mecánico a los sinfines. Ayudando a soportar las cargas de flexión que soportan los tornillos en el proceso.
- ♦ **Entrada de agua caliente:** Es un tubo perforado de acero a modo de aspersor que ingresa agua caliente sobre la canasta perforada para mejorar la dilución del aceite rebajando su viscosidad , permitiendo que el aceite fluya de una mejor manera y sea fácilmente retirado de la prensa y llevado al proceso de clarificación.
- ♦ **Tapa circular:** Se ubica en la parte frontal del canasta. Su función es la de dar soporte a la canasta perforada, además por ser desmontable permite el manteniendo de los elementos internos de la prensa tales como tornillos, canasta, ejes etc.

## 5.2.4 Sistema hidráulico

Este sistema es el encargado de accionar los conos de contrapresión esta compuesto de una unidad hidráulica de potencia y un cilindro hidráulico. Según la presión que se tenga en la canasta de prensado se extiende o retrae el cilindro para mantener la presión constante para el proceso de prensado. El control para mantener constante la presión de prensado se lleva a cabo mediante el monitoreo del amperaje del motor (No se mide directamente la presión dentro de la canasta de prensado), una variación en el amperaje del motor supone un cambio en las condiciones del proceso y por ende de la presión del prensado. Para mantener constante la presión se extienden o se retraen los conos de contrapresión para equilibrar la presión dentro de la canasta de prensado según el cambio en el amperaje del motor.

A continuación se describen los elementos que conforman el sistema hidráulico así como su función.

**Figura 41.**Sistema hidráulico



**Fuente:** Autor.

- ♦ **Conos de contrapresión, ajuste o placa de prensado:** Existen dos formas de generar la presión de contra presión para mantener la presión constante en el proceso de prensado. Una de las formas es mediante una placa de presión que básicamente es una lámina de acero que empuja el fruto de

palma hacia el interior de la canasta perforada para elevar la presión. El otro método es mediante dos elementos en forma de cono llamados conos de ajuste o contrapresión que son los más comúnmente utilizados en las prensas continuas de extracción de aceite. La acción de estos conos permite mantener la presión constante para el proceso y evacuar de una forma más controlada la torta de prensado que se obtiene al finalizar la extracción dentro de la canasta perforada.

- ♦ **Tubos guías:** Son dos tubos en los que van acoplados los conos de ajuste. Estos elementos se mueven sobre los dos ejes de alargadera facilitando la entrada y salida de los conos.
- ♦ **Ejes de alargadera:** Son dos ejes sobre los cuales se deslizan los tubos guías y los conos de contrapresión. Su función es básicamente dirigir el movimiento adelante y atrás de los conos y mantener alineado los conos con la canasta perforada.
- ♦ **Soporte de las guías:** Este soporte permite que los dos ejes de alargadera se mantengan alineados el uno respecto al otro. El soporte también tiene la función de dividir la fuerza transmitida por el cilindro hidráulico para que cada cono de contra presión ejerza la misma presión al fruto de palma dentro de la canasta perforada.
- ♦ **Cilindro hidráulico:** Es un actuador lineal que permite el movimiento de los conos de contrapresión así como ejercer la fuerza necesaria para para mantener la presión constante dentro de la canasta de prensado.
- ♦ **Unidad de potencia hidráulica:** Esta unidad de potencia hidráulica es un equipo compacto conformado por una bomba hidráulica, válvulas direccionales, tanque de almacenamiento de aceite etc. Que permite convertir la energía

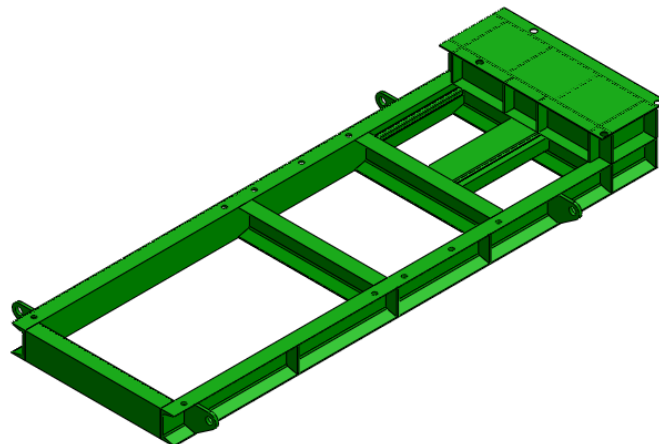
eléctrica que llega al motor en energía hidráulica que genera la bomba, esta energía es aprovechada para mover el cilindro hidráulico y generar la fuerza necesaria para mover los conos de contrapresión y como consecuencia elevar o disminuir la presión en la canasta de prensado.

### 5.2.5 Sistema estructural

Este sistema es el encargado de dar soporte y rigidez a la máquina además de unir los sistemas descritos anteriormente, la estructura se compone principalmente de la estructura inferior y los bastidores de cada sistema.

- ♦ **Estructura principal:** La estructura principal es una base construida en perfiles de acero estructural donde se ubicaran todos los sistemas de la máquina. Su función es la de soportar el peso total de la prensa, mantener unidos todos los subsistemas y transmitir todas las cargas y esfuerzos que se generan cuando el equipo está realizando el prensado del fruto.

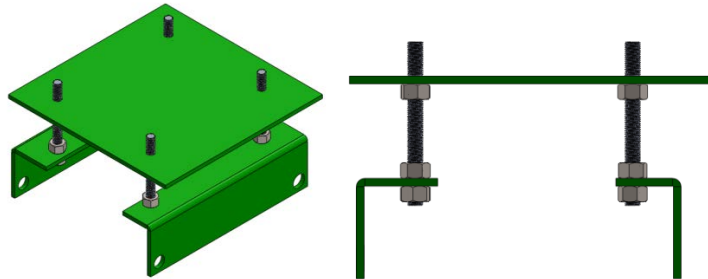
**Figura 42.**Estructura principal



**Fuente:** Autor.

- ✦ **Soporte del motor:** El soporte del motor es una lámina de acero unida al reductor de velocidad mediante barras roscadas que permiten mantener el motor en su posición así como tensar las correas de la transmisión al girar las tuercas de soporte.

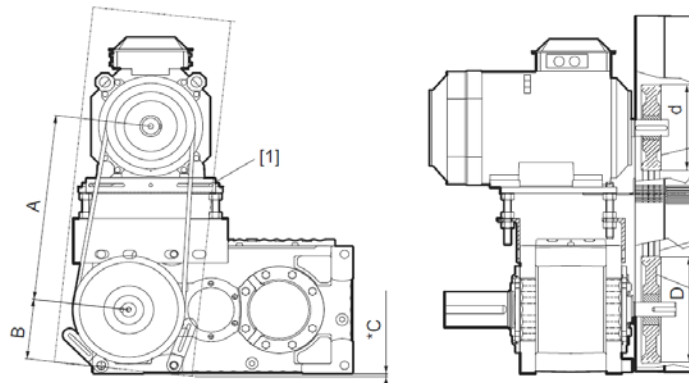
**Figura 43.** Soporte del motor



**Fuente:** Autor.

El motor eléctrico se ubicará encima del reductor de velocidad. La ubicación del motor se definió de esa manera porque se aprovecha mejor el espacio dentro de la plataforma donde van ubicadas las prensas en la estación de prensado, al hacer el equipo más compacto. Ubicar el motor encima del reductor de velocidad es una forma de ubicación aceptada y comprobada por el fabricante de reductores SEW además de ser una forma no muy común de ubicar el motor en equipos de este tipo.

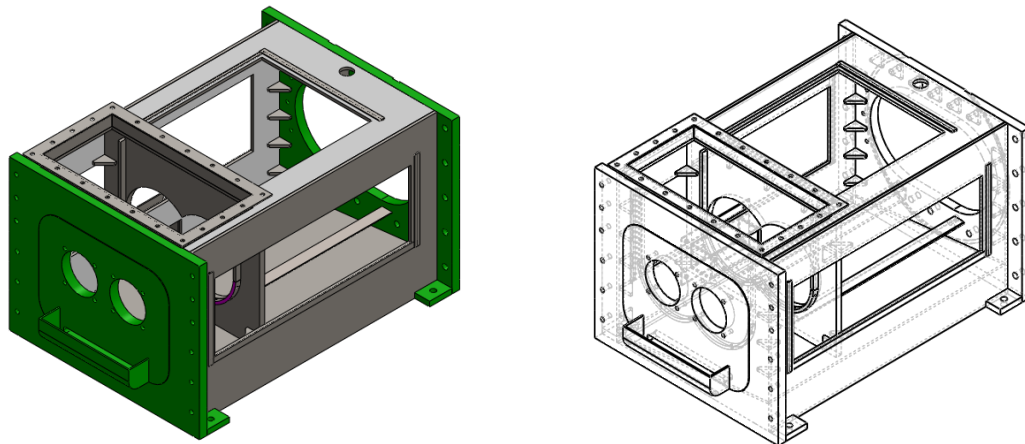
**Figura 44.** Montaje soporte motor



**Fuente:** Catalogo reductores SEW.

- ◆ **Porta canasta:** El porta canasta es el bastidor donde va ubicada la canasta de prensado y donde se lleva a cabo el proceso de prensado. Esta constituido en su totalidad por láminas de acero estructural que le dan la rigidez necesaria para soportar todas las cargas generadas por el proceso.

**Figura 45.**Porta canasta



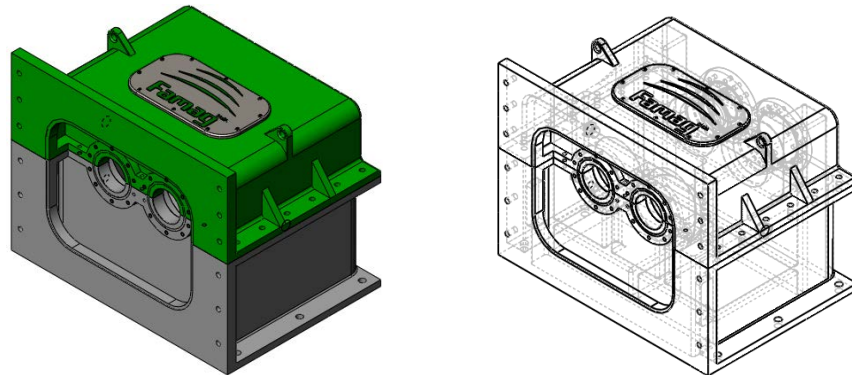
**Fuente:** Autor.

Como se ve en la figura el porta canasta posee una lámina central donde se sostienen los coladores curvos de aceite y la canasta de prensado así como también la lámina inclinada por donde se conduce el aceite extraído hacia el ducto de salida para la posterior clarificación del aceite. Las aberturas laterales y la

abertura superior permiten monitorear el proceso cuando se está llevando a cabo mediante cubiertas removibles que dejan observar el interior de la prensa. En la parte frontal lleva una tapa circular para fijar la canasta de prensado en su lugar, la cual se puede remover para labores de mantenimiento de la prensa.

- ♦ **Bastidor de la transmisión por engranajes:** El bastidor de la transmisión por engranajes se compone de dos elementos básicamente, la base que sirve de asiento para los rodamientos y soporte de los ejes así como donde se almacena el lubricante para los engranajes y la tapa superior que se retira para facilitar las labores de mantenimiento de los elementos de la transmisión como los engranajes y los rodamientos.

**Figura 46.**Bastidor transmisión por engranajes



**Fuente:** Autor.

Como la mayoría de bastidores de máquinas el bastidor está hecho en fundición de hierro gris que es un material ideal para soportar las cargas y las vibraciones que se producen en la transmisión. La base posee en su parte inferior una válvula para el cambio del lubricante así como dos mirillas laterales para monitorear el nivel de aceite necesario para lubricar los engranajes.

## 6. CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS

En este capítulo se describirá el proceso de diseño de las partes más importantes de la maquina como son los tornillos sinfín, la canasta de prensado, los ejes de la transición, los engranajes rectos, la transmisión por correas trapezoidales y la estructura y bastidores de la máquina.

Para comenzar se definieron los variables de entrada del diseño recolectadas en la bibliografía, a continuación se presenta una lista de las variables del proceso que serán utilizadas para el cálculo de cada uno de los elementos así como para las simulaciones en software CAD/CAE que se realizaron para avalar en forma definitiva el diseño.

### 6.1 VARIABLES DE ENTRADA PARA EL DISEÑO

#### ◆ **Presión de prensado.**

Como ya se vio anteriormente se decidió tomar el rango de la presión de prensado entre los 430 y 580 PSI.

#### ◆ **Presión hidráulica**

La presión hidráulica necesaria para el correcto funcionamiento del cilindro hidráulico que acciona los conos de contrapresión debe ser de 60 a 70 bares aproximadamente 1020 PSI.

#### ◆ **Amperaje de prensado.**

El Amperaje típico de operación del motor eléctrico de es de 40 a 48 Amperios.

#### ◆ **Velocidades,**

Las velocidades típicas de rotación de los sinfines están en el rango de 10 a 14 rpm que son las recomendadas para el proceso de extracción.

◆ **Torque de operación.**

El torque de operación que normalmente se manejan en este tipo de máquinas es de alrededor de 47.000 Nm a una velocidad de rotación en los sinfines de 12 rpm.

◆ **Rompimiento de nuez.**

Los manuales de 8 % máximo.

◆ **Impregnación de aceite.**

Perdidas de aceite en fibra 5 a 7 % máximo.

◆ **Capacidad de la planta extractora:**

La capacidad de la planta extractora está dada por la capacidad de la prensa por ejemplo para una planta de 45 Ton RRF/ HORA se requieren 3 prensas de 15 ton/hora de capacidad y una prensa de respaldo. Para efectos de nuestro diseño asumimos que la capacidad de la planta extractora debería ser de 45 ton/hora ya que esta es una capacidad media y se ajusta a los crecimientos de producción que quiere conseguir el sector.

◆ **Capacidad del digestor:**

Cuando se tienen prensas de 15 ton/hora de capacidad estas se acoplan a digestores de 3500 litros. Para garantizar un flujo continuo de fruto macerado dentro de las prensas.

◆ **Temperatura vapor:**

El vapor que introduce dentro del digestor debe tener una temperatura 150 C para garantizar un buen proceso de maceración para el posterior prensado.

◆ **Temperatura fruto macerado:**

La temperatura a la cual sale el fruto macerado del digestor para ingresar al ducto de alimentación de la prensa posee una temperatura promedio de 85 C y 95 Máximo.

◆ **Cantidad de Agua de dilución.**

1750 kg de agua de dilución por 7000 kg de fruto digestado que entra a la prensa.

◆ **Temperatura del agua de dilución:**

El agua caliente que se agrega en el prensado sobre la canasta perforada para diluir el aceite y permitir su rápida evacuación de la prensa debe estar a una temperatura entre 90 y 95 C.

◆ **Densidades:**

La densidad del fruto macerado que sale del digestor es en promedio de 640Kg/m<sup>3</sup>.

◆ **Tiempo de digestión:**

El tiempo de residencia del fruto de palma dentro del digestor para llevar acaba la maceración es de alrededor 20 min.

◆ **Tiempo de prensado:**

El tiempo de residencia del fruto de palma dentro de la canasta de prensado es de 1 min aproximadamente.

◆ **Balance de masa en la prensa:**

Por cada 100 kg de RFF llegan 62.7 kg al área de extracción 31.64 kg componen la torta de prensado y 31.56 kg se obtiene como licor de prensa al finalizar el proceso de extracción. Es decir se tiene aproximadamente 50% de sólidos y 50 % de líquidos.

**Tabla 13.** Variables de diseño

<b>Variable</b>	<b>Magnitud</b>
<b>Presión de prensado</b>	430 a 580 PSI
<b>Presión sistema hidráulico</b>	60 a 70 bares
<b>Amperaje de prensado</b>	40 a 48 Amperios
<b>Velocidad rotación tornillos sinfín</b>	10 a 14 rpm
<b>Troque de operación</b>	47000 Nm a 12 rpm
<b>% de Rompimiento de nuez</b>	8% máximo.
<b>% de impregnación de aceite</b>	5 a 7 % máximo
<b>Capacidad de la planta extractora</b>	45 Ton RRF/h
<b>Capacidad del digestor</b>	3500 litros
<b>Temperatura del vapor</b>	150 C
<b>Temperatura del fruto macerado</b>	85 a 95 C máximo
<b>Cantidad de agua de dilución</b>	1750 kg de agua por 7000 kg fruto
<b>Temperatura del agua de dilución</b>	90 a 95 C
<b>Densidad del fruto en la salida del digestor</b>	640 kg/m <sup>3</sup>
<b>Tiempo de digestión</b>	20 min aproximadamente
<b>Tiempo de prensado</b>	1 min aproximadamente
<b>Balance de masa en prensa</b>	50 % Solidos , 50% liquidos

**Fuente:** Autor.

## 6.2 CALCULO DE CAPACIDAD DE LA PRENSA

La capacidad volumétrica y el flujo másico que puede manejar la prensa se calcula en base a la capacidad de procesamiento de fruta de una sola prensa es decir 15 Ton RFF/h. El porcentaje de masa de los frutos en el racimo de palma es de 66 %. Entonces el flujo másico que manéjala prensa es:

$$\dot{m} = 0.66 \times 15 = 9900 \text{ Kg/h}$$

Y la capacidad c volumétrica de la prensa es

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (1)$$

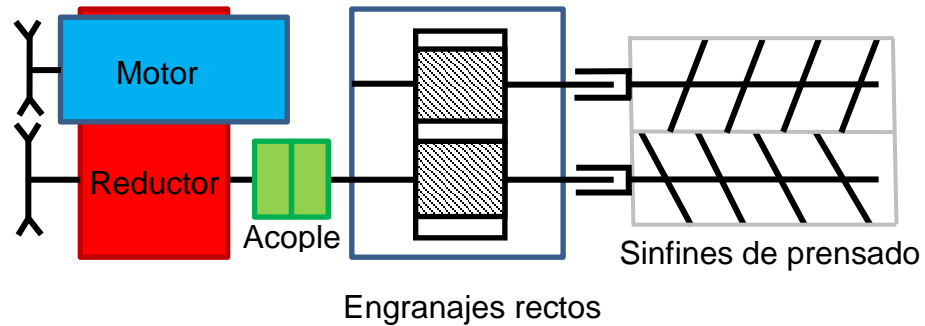
$\rho = 641 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$  es la densidad del fruto digestado de palma

$$\dot{Q} = \frac{9900 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]}{641 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]} = 15.5 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

## 6.3 DISEÑO DE LA TRANSMISIÓN POTENCIA

El proceso de prensado se recomienda llevarlo a cabo a bajas velocidades de entre 10 y 14 rpm y además requiere un elevado par de torsión para extraer el aceite del fruto de palma, con estos requerimientos se decidió que el diseño de la trasmisión de potencia se hiciera en tres etapas, una primera etapa de trasmisión por correas trapezoidales, una segunda etapa mediante un reductor de velocidad y una tercera etapa por medio de engranajes rectos para accionar los dos tornillos sin fin.

**Figura 47.** Etapas de transmisión de potencia



**Fuente:** Autor.

Como primera medida se decidió que la velocidad de rotación de los tornillos sería de 14 rpm ya que esta velocidad haría que el tamaño del reductor de velocidad fuera mucho menor y por ende los costos del mismo. Fijado el valor de la velocidad de rotación de los sinfines se continuo con la selección de un motor que proporcionara los requisitos de potencia que demanda el proceso, se seleccionó entonces un motor trifásico de inducción de eficiencia estándar de la marca WEG de 40 hp de potencia y 1750 rpm que se acomodaba a nuestros requerimientos y es económicamente adecuado para nuestra aplicación. Teniendo los valores de entrada y salida de la transmisión de potencia se procedió al diseño de la misma.

Se definió la relación de transmisión utilizando la ecuación (2) como

$$i_{total} = \frac{n_{motor}}{n_{tornillo}} \quad (2)$$

$$i_{total} = 125$$

Y se definieron las tres etapas de transmisión





$$i_{total} = i_{correas} i_{reductor} i_{engranajes} \quad (3)$$

Como los tornillos deben girar a la misma velocidad

$$i_{engranajes} = 1 \quad (4)$$

Consultando el catálogo de reductores industriales SEW se observaron las posibles relaciones de transición que satisfacen nuestra aplicación

**Tabla 14.** Velocidades de entrada recomendadas reductores industriales SEW.

MC2P... MC3P...	Torque class [kNm]	Gear unit design "L" 				Gear unit design "V" 				Gear unit design "E" 			
		Input speed $n_1 = \dots$ 1/min				Input speed $n_1 = \dots$ 1/min				Input speed $n_1 = \dots$ 1/min			
		1800	1500	1200	1000	1800	1500	1200	1000	1800	1500	1200	1000
Selection data on page... 													
02	8.0	136	140	144	148	184	188	192	196	232	236	240	244
03	11.5	136	140	144	148	184	188	192	196	232	236	240	244
04	15.5	137	141	145	149	185	189	193	197	233	237	241	245
05	20.0	137	141	145	149	185	189	193	197	233	237	241	245
06	25.0	138	142	146	150	186	190	194	198	234	238	242	246
07	35.0	138	142	146	150	186	190	194	198	234	238	242	246
08	46.0	139	143	147	151	187	191	195	199	235	239	243	247
09	65.0	139	143	147	151	187	191	195	199	235	239	243	247

Fuente: Catalogo reductores industriales SEW serie MC.

**Tabla 15.** Relaciones de trasmisión reductores industriales SEW.

MC.PL...07, $n_1 = 1000$ 1/min										35.0 kNm				
7.10	6.86	146	27.7	433	5.0	*	130	65	217	129	279	174		
8.00	7.73	129	29.8	414	3.84	1.04	135	70	222	133	284	179		
9.00	8.68	115	30.8	382	6.1	6.3	139	74	226	138	289	183		
10.00	9.65	104	30.2	337	7.0	*	143	78	230	142	292	187		
11.20	10.86	92	33.4	330	3.05	0.64	147	82	234	146	296	191		
12.50	12.19	82	31.9	281	9.3	*	151	86	238	150	300	195	162	280
14.00	13.73	73	35.7	279	3.61	*	155	90	242	153	304	199		
16.00	15.42	65	36.5	254	7.6	4.90	126	61	201	113	255	150		
18.00	17.66	57	36.8	224	12.2	6.1	130	65	205	117	259	154		
20.00	20.25	49	34.1	181	22.5	15.5	134	68	209	121	263	158		
22.50	22.38	45	24.9	121	34.1	3.15	121	72	185	119	231	153		
25.00	25.20	40	28.0	121	33.2	3.15	123	74	188	122	234	156		
28.00	28.31	35	31.4	121	31.8	3.15	125	77	190	124	236	158		
31.50	31.86	31	31.9	109	33.0	4.91	128	79	192	127	239	160		
35.50	35.78	28	35.8	109	31.3	4.92	130	81	195	129	241	163		
40.00	41.02	24	33.9	90	38.4	7.7	132	84	197	131	243	165		
45.00	43.89	23	29.0	72	44.6	7.3	134	85	198	132	244	166		
50.00	49.30	20	32.6	72	43.5	7.3	134	85	198	132	244	166		
56.00	55.47	18	32.9	64	45.5	9.1	135	87	200	134	246	168	178	283
63.00	62.31	16	36.9	64	44.1	9.1	137	89	202	136	248	170		
71.00	68.66	15	33.2	53	51	3.06	139	91	204	138	250	172		
80.00	77.12	13	37.3	53	49.8	3.06	116	68	172	106	212	134		
90.00	88.41	11	34.8	43	53	5.5	118	69	174	108	214	136		
100.00	99.48	10	32.0	35	53	6.0	120	71	176	110	216	138		
112.00	114.04	8.8	35.3	34	53	6.3	121	73	177	112	217	139		
							123	74	179	113	219	141		

Fuente: Catalogo reductores industriales SEW serie MC.

Con estos datos se construyó una tabla para ver cuál relación de transición era la más adecuada para el diseño.

**Tabla 16.** Iteración relación de transmisión seleccionada SEW.

n motor	n_int_reductor	i_correas	i_reductor	i_total_1	i_total_2	i_total_3	i_total_4
1750	1800	0,9722222	22,5	21,875	26,25	32,8125	39,375
	1500	1,1666667	25	24,305556	36,458333	36,458333	43,75
	1200	1,4583333	28	27,222222	32,666667	40,833333	49
	1000	1,75	31	30,138889	36,166667	45,208333	54,25
			35,5	34,513889	41,416667	51,770833	62,125
			40	38,888889	46,666667	58,333333	70
			45	43,75	52,5	65,625	78,75
			50	48,611111	58,333333	72,916667	87,5
			56	54,444444	65,333333	81,666667	98
			63	61,25	73,5	91,875	110,25
			71	69,027778	82,833333	103,54167	124,25
			80	77,777778	93,333333	116,66667	140
			90	87,5	105	131,25	157,5
			100	97,222222	116,66667	145,83333	175
			112	108,88889	130,66667	163,33333	196

**Fuente:** Autor.

En la tabla se puede ver que la relación de transición más cercana a nuestro valor de diseño, con esto podemos definir nuestras relaciones de transmisión por etapas.

$$i_{correas} = 1.75$$

$$i_{reductor} = 71$$

Con la relación de transición ya definida para cada etapa. Se procedió al diseño de la transición de correas trapecoidales entre el motor eléctrico y la entrada del reductor de velocidad. Para realizar el diseño se utilizó el software gratuito Belt drive design calculations (version 3.0) disponible en la página web de SKF ya que Famag Ltda compra elementos de transmisión de potencia ya fabricados a esta

empresa, luego no se hace necesario el diseño de poleas ni otros elementos para la transmisión.

Con unos pocos datos de entrada el software nos arroja resultados tales como el tipo de poleas que debemos utilizar, el tipo de correa y demás accesorios necesario para el montaje de la transmisión en la figura se pueden ver los resultados dados por el software.

**Tabla 17.** Resultados selección de transmisión por correas trapezoidales



Resultados de los cálculos

**Datos de entrada:**

Potencia Nominal (kW)	30
Torque nominal	163.7
Solicitado factor de servicio	1.4
Velocidad motriz (rpm)	1750
Velocidad Conducida (rpm)	1000

**Accionamiento:**

Ancho total (mm)	63
Longitud Total (mm)	958.64
Altura Total (mm)	450.28
Distancia entre centros de poleas (mm)	605
Longitud Span (mm)	597.23

**correa:**

Designación	PHG B89.46
Numero de correas	3
Factor de servicio actual	1.33
Potencia de la correa (kW)	39.83
Masa de correa (kg.)	0.43
Ancho de la correa (mm)	17

**Polea Motriz:**

Designación	PHP 3SPB250TB
diámetro de referencia	250
Buje nominal	PHF TB3020X2.5MM
Taperlock shaft diameter range [mm]	2.5 -- 7.5

**Polea Conducida:**

Designación	PHP 3SPB443.28TB
diámetro de referencia	443.28

**Cargas:**

Cargas estaticas en el eje para correas nuevas (N)	4389.45
Cargas estaticas en el eje para correas usadas (N)	2926.3
Cargas dinamicas para correas nuevas (N)	3764.97
Cargas dinamicas para correas usadas (N)	2301.82

**Tensionador:**

tensión de instalación para una correa nueva (N)	731.58
tensión de instalación para una correa usada (N)	487.72
Fuerza de Deflexión para el tensiometro mecanico para correas SKF (kg.)	
Nuevo	4.76
Recorrida	3.21
Frecuencia de vibración para Medidor de Frecuencia de correas SKF (Hz)	
Nuevo	52.41
Recorrida	42.79



Medidor de Frecuencia de correas SKF (PHL FM10/400)



Medidor de tensión mecánico (PUB PED C1/007)

Fuente: SKF

## 6.4 DISEÑO TORNILLOS SIN FIN DE PENSADO

La parte más importante de la prensa son los tornillos sinfín de prensado, pues son ellos junto con los conos de contrapresión son los encargados de elevar la presión dentro de la canasta de prensado para extraer el aceite del fruto de palma. Primero se definió la nomenclatura que se manejó para el de diseño de los sinfines.

**Tabla 18.**Nomenclatura diseño tornillos

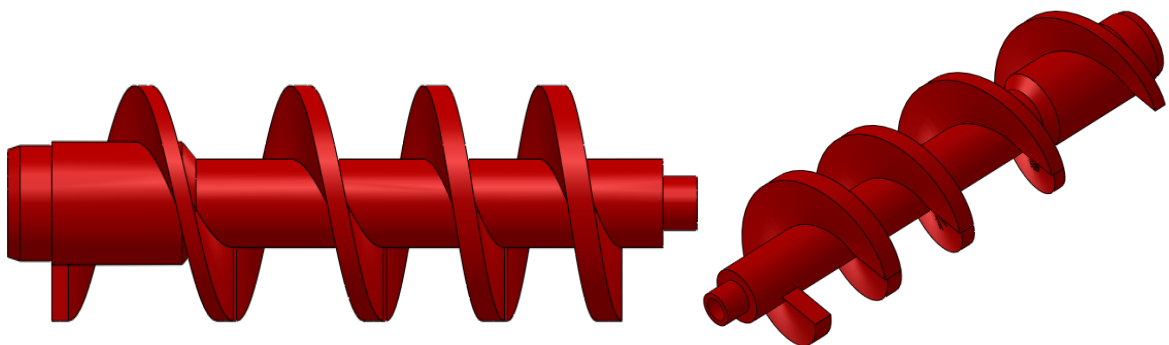
$A$	Área de sección transversal	$m^2$
$A_r$	Área de contacto	$m^2$
$b$	Ancho filete del tornillo	$mm$
$d$	Diámetro del tornillo	$mm$
$d_m$	Diámetro medio del tornillo	$mm$
$d_k$	Diámetro crítico del tornillo	$mm$
$D, D_r.$	Diámetro externo del eje del tornillo	$mm$
$d_r$	Diámetro interno eje del tornillo	$mm$
$F$	Fuerza axial que actúa sobre el tornillo	$N$
$G$	Módulo de Rigidez	$Pa$
$h$	Altura del filete del tornillo	$mm$
$I$	Momento de inercia	$mm^4$
$J$	Momento polar de inercia para un eje sólido	$mm^4$
$J_r$	Momento polar de inercia eje hueco	$mm^4$
$l$	Longitud	$m$
$L$	Distancia transversal	$m$
$P$	Fuerza para mover la carga	$N$
$P_p$	Presión de prensado <i>bares</i>	
$p$	Paso del tornillo	$mm$
$Q$	Flujo másico prensa	$Kg / hr$
$T$	Torque	$N \cdot mm$
$V$	Volumen de desgaste	$m^3$
$\theta$	Angulo de torsión para un eje circular	$^\circ$
$\rho$	La densidad fruto macerado de palma	$kg/m^3$
$v$	Flujo volumétrico en la prensa	$m^3/hr$
$\mu$	Coeficiente de fricción de deslizamiento	
$\tau_{max}$	Máximo esfuerzo cortante	$Mpa$
$\tau_{nom}$	Esfuerzo cortante nominal debido a la torsión	$Mpa$
$\sigma$	Esfuerzo axial	$MPa$
$\sigma_b$	Esfuerzo de flexión	$MPa$
$\tau$	El esfuerzo cortante en la base del tornillo debido a $F$	$Mpa$

**Fuente:** Autor.

El diseño de los tornillos se lleva a cabo en tres etapas. Primero se hace el diseño del eje sobre el cual se monta la hélice del tornillo. Después se calcula el torque de necesario para el proceso de prensado y con este se determina el diseño de la hélice del tornillo y por último se hace un análisis del desgaste que sufren los tornillos en el proceso.

Para el diseño de los tornillos inicialmente se siguió las recomendaciones dadas en el manual Wambeck editado por FEDEPALMA. El manual establece que los tornillos sin fin deben tener un diámetro externo de 305 mm por 1200 mm de largo, un paso en la sección de alimentación de 270 mm y un paso en la sección de presando de 190 mm y un diámetro del eje de 100 mm mínimo. Consultando páginas web de fabricantes y algunos catálogos se llegó a formar una primera geometría para el diseño de los tornillos que luego se sustentó y avaló mediante los cálculos de esfuerzos y simulaciones en software CAD/CAE. Una característica importante que se observó, fue que este tipo de tornillos además de tener el paso variable también tienen el ancho del filete variable conforme aumenta la presión.

**Figura 48.** Modelo CAD tornillo sin fin de prensado

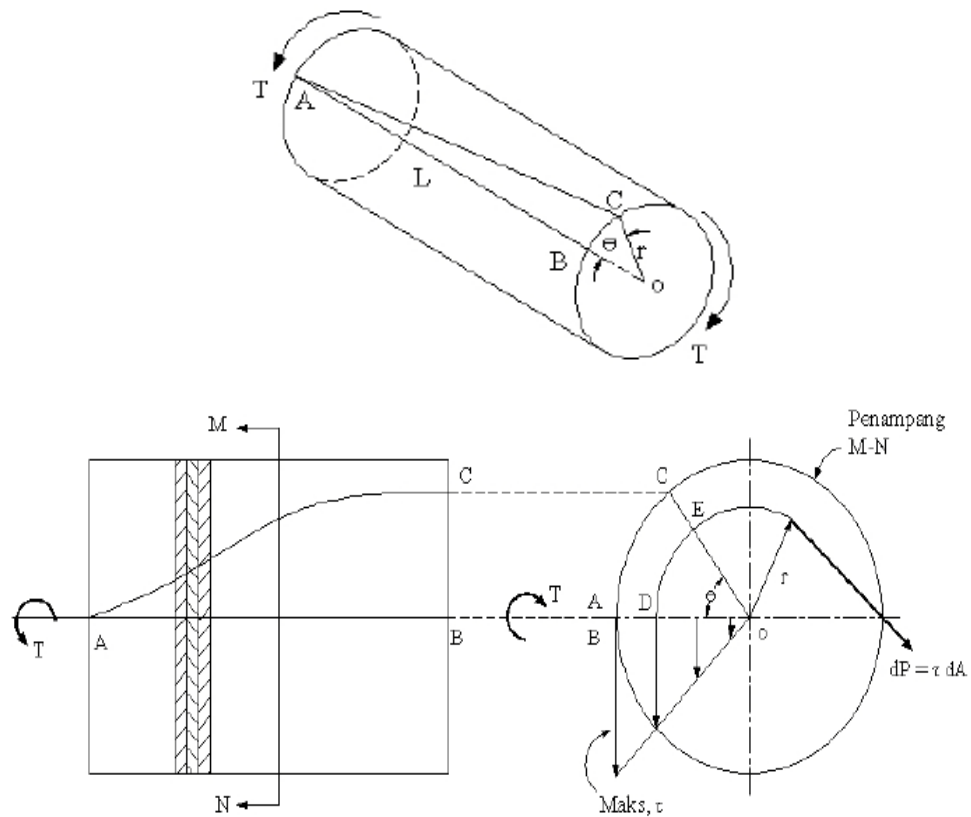


**Fuente:** Autor.

### 6.4.1 Diseño del eje de los tornillos

Como en el eje de los tornillos solo actúan carga de torsión el diseño del eje se realizó utilizando los principios de esfuerzos en un eje sometido a torsión. La deformación (ángulo de giro) que genera el esfuerzo de cizallamiento que se produce en el eje de los tornillos debido al torque que actúa en el tornillo de la prensa se puede observar en la figura.

**Figura 49.** Deformación de un eje debido a la torsión.



**Fuente:** <http://dc401.4shared.com/doc/SYMZW3Q3/preview.html>.

En la figura se ve el torque que actúa sobre el eje. Las fibras inicialmente rectas  $AB$  se tuercen en una hélice  $AC$  debido a la deformación  $\theta$ .

El ángulo de giro de una barra sólida de sección circular se puede calcular mediante la siguiente ecuación

$$\theta = \frac{Tl}{GJ} \quad (5)$$

Dónde:

$T$  es el torque.

$l$  es la longitud

$G$  es el módulo de rigidez del material.

$J$  es el momento polar de inercia.

$\theta$  es el ángulo de giro de la barra redonda sólida

El par de torsión que actúa sobre el eje redondo sólido ( $T$ ) es:

$$T = \frac{G\theta}{l}J \quad (6)$$

Para una barra redonda sólida, el esfuerzo cortante es cero en el punto central, y máximo en la superficie exterior del eje. La distribución de la tensión es directamente proporcional al radio ( $r = \frac{1}{2}$  diámetro). Luego el esfuerzo cortante máximo será:

$$\tau_{max} = \frac{T \frac{1}{2}D}{J} \quad (7)$$

El Momento polar de inercia ( $J$ ) para un eje redondo sólido es

$$J = \frac{\pi D^4}{32} \quad (8)$$

Mientras que el momento polar de inercia ( $J_r$ ) para un eje hueco es:

$$J_r = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4) \quad (9)$$

Dónde:

***D*** es el diámetro exterior del eje hueco.

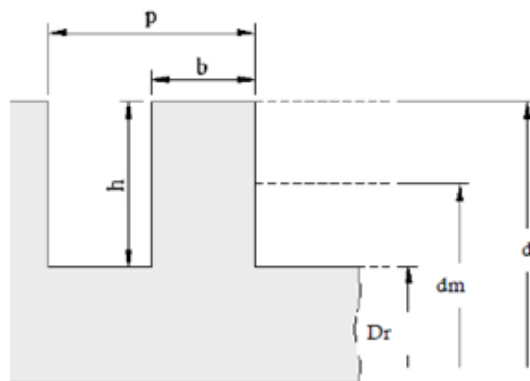
***d*** es el diámetro interior del eje hueco.

Combinando las ecuaciones anteriores se obtiene la ecuación (10) para calcular esfuerzo cortante máximo en un eje hueco sometido a torsión pura

$$\tau_{max} = \frac{16TD}{\pi(D^4 - d^4)} \quad (10)$$

#### 6.4.2 Determinación del torque requerido para el proceso

**Figura 50.** Terminología del tornillo de prensado



*p* = Paso del tornillo  
*b* = Espesor del filete del tornillo  
*h* = Altura filete del tornillo  
*d* = Diámetro exterior del tornillo.  
*d<sub>m</sub>* = Diámetro medio del tornillo  
*Dr* = Diámetro exterior eje tornillo

**Fuente:** <http://dc401.4shared.com/doc/SYMZW3Q3/preview.html>.

***p*** = 187 [mm]

***d*** = 305 [mm]

$$D_r = 115 [mm]$$

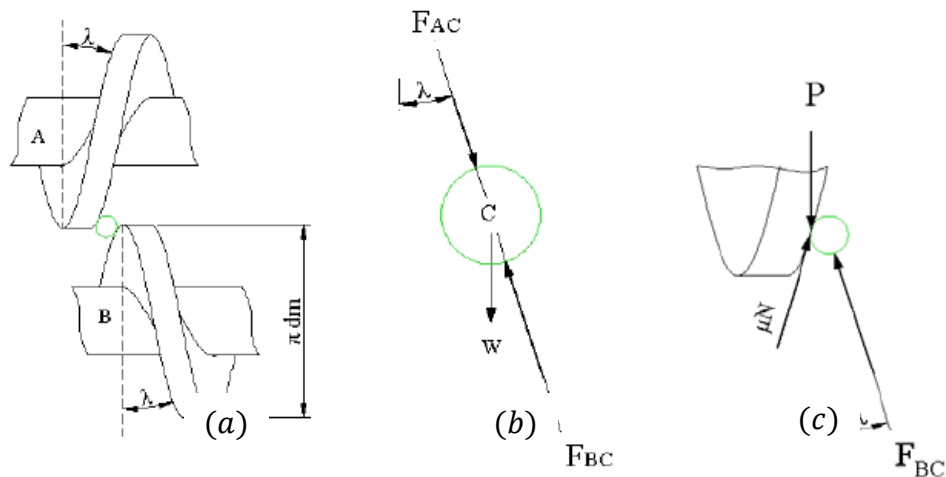
$$h = 95[mm]$$

$$d_m = 210[mm]$$

El análisis para la determinación del torque requerido para el proceso de prensado se hará en la zona donde coinciden los tornillos de prensado cuando giran solidariamente prensando el fruto de palma más o menos en el radio medio del filete del tornillo.

Determinado el punto crítico de los tornillos se identificaron las fuerzas que actúan en el filete del tornillo.

**Figura 51.** Fuerzas que actúan entre los tornillos de prensado

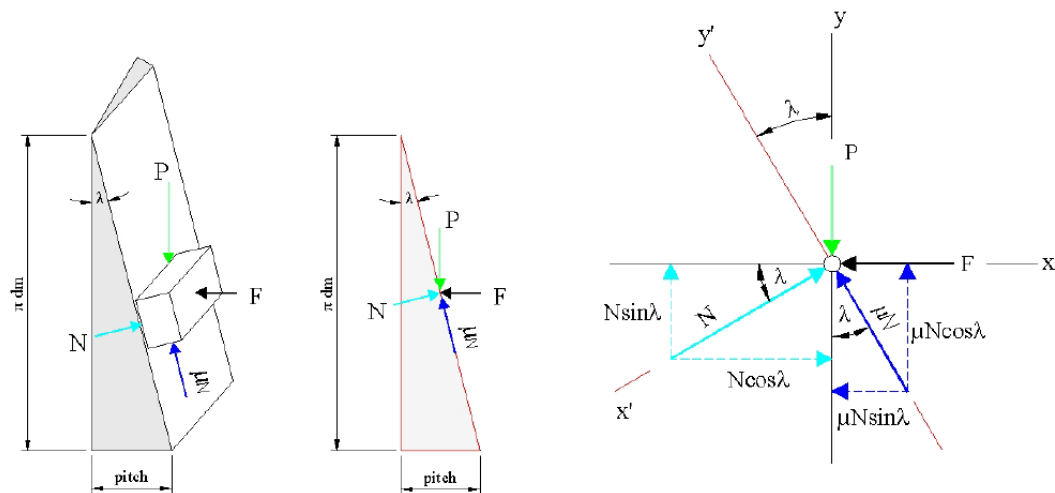


**Fuente:** <http://dc401.4shared.com/doc/SYMZW3Q3/preview.html>

En la figura se pueden observar el punto crítico de los tornillos de prensado (a) , las fuerzas que actúan sobre el fruto de palma entre los tornillos de prensado (b) y las fuerzas que actúan sobre el filete del tornillo de prensado cuando se está llevando a cabo el proceso(c).

Para determinar el torque necesario para llevar a cabo el proceso se realizó un análisis de fuerzas que actúan sobre el tornillo como se observa en la figura. La hélice del tornillo se representó como un plano inclinado cuya base es el paso del tornillo y la altura es la longitud de la circunferencia del diámetro medio del tornillo.

**Figura 52.** Fuerzas que actúan sobre los tornillos de prensado.



**Fuente:** <http://dc401.4shared.com/doc/SYMZW3Q3/preview.html>

En la figura también se observa el diagrama de cuerpo libre y las componentes de las fuerzas que actúan sobre los tornillos de prensado las cuales se describen a continuación:

$F$  fuerza axial de compresión en el tornillo

$P$  fuerza que actúa para mover el fruto de palma

$N$  fuerza normal

$\mu N$  fuerza de fricción que se produce entre el fruto de palma y la superficie del tornillo

Una vez determinadas las fuerzas que actúan sobre los tornillos se calcula cada una de ellas. Primero se realizó la sumatoria de los componentes de cada fuerza en los dos ejes coordenados establecidos.

$$\sum F_H = N \cos \lambda - F - \mu N \sin \lambda = 0 \quad (11)$$

$$\sum F_V = N \sin \lambda + \mu N \cos \lambda - P = 0 \quad (12)$$

Eliminando la fuerza normal y dejando todo en términos de la fuerza que actúa para mover el fruto de palma ( $P$ ) se obtiene:

$$\sum F_H = [N(\cos \lambda - \mu \sin \lambda) - F] \frac{1}{N} = 0$$

$$(\cos \lambda - \mu \sin \lambda) - \frac{F}{N} = 0$$

$$\sum F_V = [N(\sin \lambda + \mu \cos \lambda) - P] \frac{1}{N} = 0$$

$$(\sin \lambda + \mu \cos \lambda) - \frac{P}{N} = 0$$

$$N = \frac{F}{\cos \lambda - \mu \sin \lambda}$$

$$P = N(\sin \lambda + \mu \cos \lambda)$$

$$P = \frac{F(\sin \lambda + \mu \cos \lambda)}{\cos \lambda - \mu \sin \lambda}$$

Dividiendo por  $\cos \lambda$  y sustituyendo  $\tan \lambda = \frac{Paso}{\pi d_m} = \frac{p}{\pi d_m}$  se tiene

$$P = \frac{F \left[ \frac{p}{\pi d_m} + \mu \right]}{1 - \left( \frac{\mu p}{\pi d_m} \right)} \quad (13)$$

El torque es el producto de la Fuerza  $P$  por el radio medio y calcula mediante sustitución de la ecuación (13) en la ecuación (14)

$$T = \frac{P d_m}{2} \quad (14)$$

Luego el torque necesario para el proceso se puede calcular por medio de la siguiente expresión

$$T = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{p + \mu \pi d_m}{\pi d_m - \mu p} \right) \quad (15)$$

Donde

$T$  es el par que actúa en el tornillo.

$F$  es la fuerza axial que actúa sobre el tornillo

$\mu = 0.49$  es el coeficiente de fricción entre el material y la superficie del tornillo  
asumimos acero contra roble seco

$p$  es el paso del tornillo

$d_m$  es el diámetro medio del tornillo

La fuerza axial que actúa sobre el tornillo es causada por la presión de prensado que se ejerce sobre el fruto de palma. La presión de presado puede variar entre 30 y 40 bares. Para los cálculos se asumió la presión máxima de 40 bares.

$$P_p = 40 \text{ [Bares]}$$

$$P_p = 4 \times 10^6 \left[ \frac{N}{m^2} \right] = 4 \text{ [MPa]}$$

Para calcular la fuerza axial sobre el tornillo se tiene

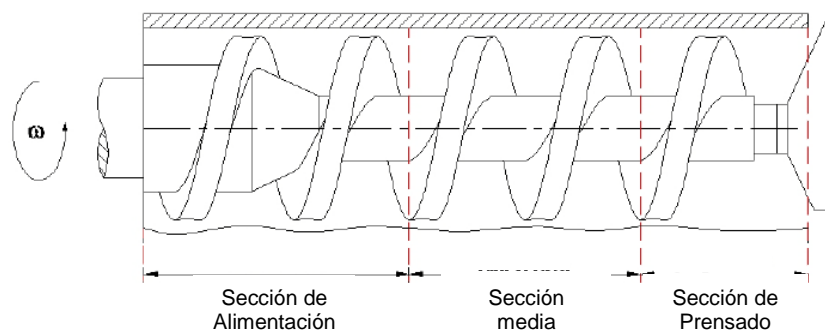
$$F = P_p * A \quad (16)$$

Donde

$A$  es el área de la sección transversal del tornillo perpendicular al eje

Los tornillos sin fin de prensado se dividen en tres secciones. La sección de alimentación donde se recibe el fruto de palma proveniente del digestor y se alimenta la prensa, en esta sección el paso del tornillo es el más grande; La sección media donde se incrementa un poco la presión del fruto contra la canasta de prensado, debido a la reducción del paso del tornillo y finalmente la sección del prensado donde el paso se reduce considerablemente y se incrementa aún más la presión contra la canasta de prensado y se suma a la presión generada por los conos de contrapresión accionados por el cilindro hidráulico, permitiendo así la extracción de aceite de los frutos de palma.

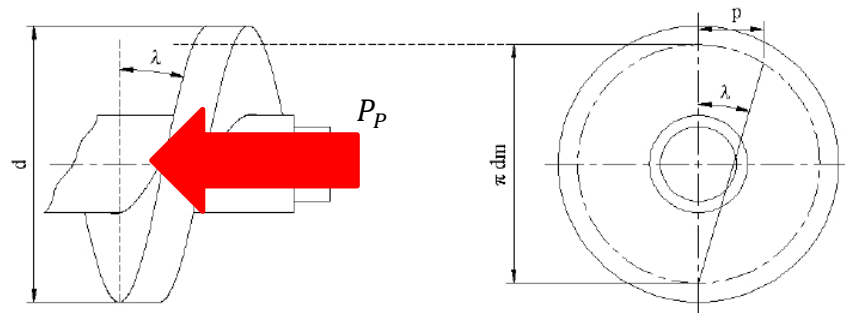
**Figura 53.** Secciones de los tornillos de prensado



**Fuente:** Autor.

En el área transversal de la sección de prensado es donde actúa fuerza axial máxima sobre los tornillos de prensado, luego esta área se utilizara para los cálculos.

**Figura 54.** Fuerzas experimentadas por los tornillos debido a la presión



**Fuente:** Autor.

$$A = \pi \cdot d \cdot b \cdot n \quad (17)$$

$$A = \pi \cdot 305 \cdot 42 \cdot 1$$

$$A = 40243.80 [mm^2]$$

$$A = 0.040 [m^2]$$

El ángulo de avance del tornillo se puede calcular como

$$\lambda = \frac{p}{\pi d_m} \quad (18)$$

$$\lambda = 20^\circ$$

El área perpendicular el eje del tornillo se obtiene

$$A = A \cos \lambda \quad (19)$$

$$A = 0.038 [m^2]$$

La Fuerza axial para un solo tornillo de prensado seria (presión de prensado dividida entre 2)

$$F = (2 \times 10^6)(0.038)$$

$$F = 75633.6 [N]$$

El torque necesario para el proceso se obtiene finalmente mediante la siguiente ecuación

$$T = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{P + \mu \pi d_m}{\pi d_m - \mu P} \right) \quad (20)$$

$$T = \frac{75633.6(210)}{2} \left( \frac{187 + \pi(0.49)(210)}{\pi(210) - 0.49(210)} \right)$$

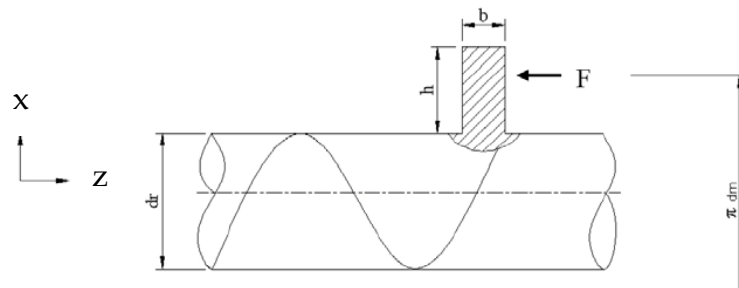
$$T = 7277427.823 [N \cdot mm]$$

$$T = 7277.42 [N \cdot m]$$

### 6.4.3 Cálculos de esfuerzos en el tornillo

El análisis de esfuerzo en los tornillos de prensado se realizó en dos partes, en una se analizan los esfuerzos sobre el eje del tornillo y en la otra se calculan los esfuerzos sobre el filete del tornillo.

**Figura 55.** Geometría del tornillo utilizada para determinar los esfuerzos de cizallamiento y esfuerzos de flexión sobre la base del tornillo



**Fuente:** Autor.

- Esfuerzos en el eje del tornillo:** Los esfuerzos que soporta el eje de los tornillos son dos, el esfuerzo cortante por torsión y el esfuerzo axial de compresión debido a la fuerza axial que actúa en los tornillos. El esfuerzo cortante nominal en torsión  $\tau$  del eje del tornillo se puede expresar como

$$\tau = \frac{16TD}{\pi(D^4 - d^4)} \quad (21)$$

Y el esfuerzo axial en el eje del tornillo debido a la carga axial  $F$  es

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi(D_r^2 - d_r^2)} \quad (22)$$

- Esfuerzos en el filete del tornillo:** Los esfuerzos que soporta el filete del tornillo es por flexión en la base del filete y el esfuerzo de cizallamiento en la base del filete. El esfuerzo de flexión se puede calcular usando la ecuación de una viga en voladizo que se extiende desde el eje del tornillo.

$$\sigma_b = \frac{M}{I/c} \quad (23)$$

El momento de inercia  $I$  se calcula como

$$I = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} y^2 d_A$$

$$A = \pi \Delta D_r n \quad d_A = \pi \Delta D_r n d_y$$

$$I = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} y^2 \pi \Delta D_r n d_y$$

$$I = \frac{1}{12} (\pi \Delta D_r n) b^3 \quad (24)$$

El módulo de la sección  $I/c$  se obtenido mediante la sustitución de  $c = b/2$  en la ecuación (25)

$$\frac{I}{c} = \frac{1}{6} (\pi \Delta D_r n) b^2 \quad (25)$$

El momento flector que actúa en la viga en voladizo es

$$M = F \frac{h}{2} \quad (26)$$

Entonces el esfuerzo por flexión en la raíz de la rosca es

$$\sigma_b = \frac{3Fh}{\pi \Delta D_r n b^2} \quad (27)$$

Donde

$$\Delta D_r = D_r - d_r$$

Finalmente se llega a esta expresión para determinar el esfuerzo de flexión en la raíz del filete del tornillo.

$$\sigma_b = \frac{3Fh}{\pi (D_r - d_r) n b^2} \quad (28)$$

El esfuerzo cortante transversal que actúa sobre la raíz del tornillo debido a la fuerza axial ( $F$ ) es

$$\tau = \frac{3V}{2A} = \frac{3}{2} \frac{F}{\pi \Delta D_r n b} = \frac{3F}{2\pi (D_r - d_r) n b} \quad (29)$$

Y en la parte superior del tornillo es cero. El esfuerzo de Von Mises  $\sigma'$  en la parte superior del plano de la raíz del tornillo se determina identificando primero los esfuerzos normales ortogonales y los esfuerzos cortantes. A partir del sistema de coordenadas de la figura 55, y reemplazando en las ecuaciones (21), (22) y (28) tenemos

$$\sigma_x = \frac{3Fh}{\pi(D_r - d_r)nb^2} \quad \tau_{xy} = 0$$

$$\sigma_y = 0 \quad \tau_{yz} = \frac{16TD}{\pi(D_r^4 - d_r^4)}$$

$$\sigma_z = -\frac{4F}{\pi(D_r^2 - d_r^2)} \quad \tau_{zx} = 0$$

Calculando cada uno de los esfuerzos se tiene

- ♦ Esfuerzo cortante en el eje del tornillo debido a la fuerza axial  $F$  de la ecuación(21)

$$\tau_{yz} = \frac{16(7277427.823)(115)}{\pi(115^4 - 48^4)} = 25.13 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] = 25.130 [MPa]$$

$$\tau_{yz} = 25.13 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] = 25.13 [MPa]$$

- ♦ Esfuerzo axial en el eje del tornillo debido a la fuerza axial  $F$  de la ecuación(22)

$$\sigma_z = \frac{4(75633.60)}{\pi(115^2 - 48^2)}$$

$$\sigma_z = -8.81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] = -8.81 [MPa]$$

- ♦ El esfuerzo cortante que actúa en la base del tornillo de la ecuación (28)

$$\sigma_x = \frac{3(75633.60)(95)}{2\pi(115-48)(1)(42^2)}$$

$$\sigma_x = 29.027 \text{ [MPa]}$$

Para determinar la tensión de Von Mises se calcula el esfuerzo principal que soporta el tornillo. En el plano  $xz$  no hay esfuerzo de corte entonces se calcula en el plano principal  $zy$ . Así queda que  $\sigma_x = \sigma_z = -8.81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$  y  $\tau_{yx} = \tau_{yz} = 25.13 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$ .

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (30)$$

$$\sigma_1 = \frac{-8.81 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{-8.81 - 0}{2}\right)^2 + 25.13^2} = 20.80 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\sigma_2 = \frac{-8.81 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{-8.81 - 0}{2}\right)^2 + 25.13^2} = -29.61 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

El esfuerzo de Von Mises se determina con la siguiente expresión

$$\sigma' = \left( \frac{[\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_3 - \sigma_1]^2}{2} \right)^{1/2} \quad (31)$$

Remplazando  $\sigma_1 = 29.027 \text{ [MPa]}$ ,  $\sigma_2 = 20.80 \text{ [MPa]}$ ,  $\sigma_3 = -29.61 \text{ [MPa]}$  se obtiene

$$\sigma' = \left( \frac{[29.027 - 20.80]^2 + [20.80 - (-29.61)]^2 + [(-29.61) - 29.027]^2}{2} \right)^{1/2}$$

$$\sigma' = 55 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] = 55 [MPa]$$

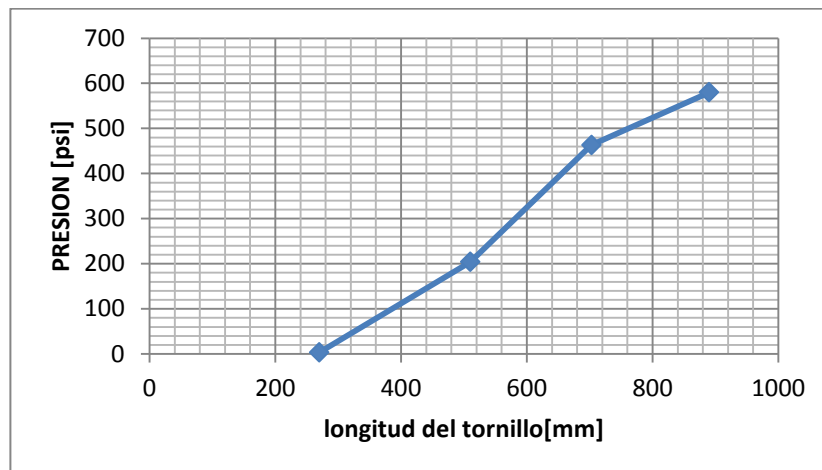
Finalmente se determinó el factor de seguridad como se ve en la ecuación (32) conociendo el límite de fluencia del acero SAE 4340 laminado en caliente que es  $S_y = 441 [MPa]$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (32)$$

$$n = \frac{441 MPa}{55 MPa} = 8$$

Para la validación del diseño de los tornillos se realizó un análisis de esfuerzos utilizando el módulo de simulación de SolidWorks. Para la simulación se utilizó acero SAE 4340 y se fijaron dos apoyos rígidos en los extremos, se aplicaron presiones en los filetes del tornillo aumentando la presión en cada cambio de paso del tornillo comenzando por la presión generada por el peso del fruto macerado dentro del digestor (3.65 psi) hasta llegar a la presión máxima de 580 psi que sería la máxima presión de diseño. En la siguiente figura se observa el perfil de aumento de la presión a lo largo del sin fin conforme aumenta la presión,

**Figura 56.** Perfil de presión a lo largo del tornillo.



**Fuente:** Autor

los valores intermedios de presión para la simulación se interpolaron según cambio en el paso y el espesor del filete del tornillo.

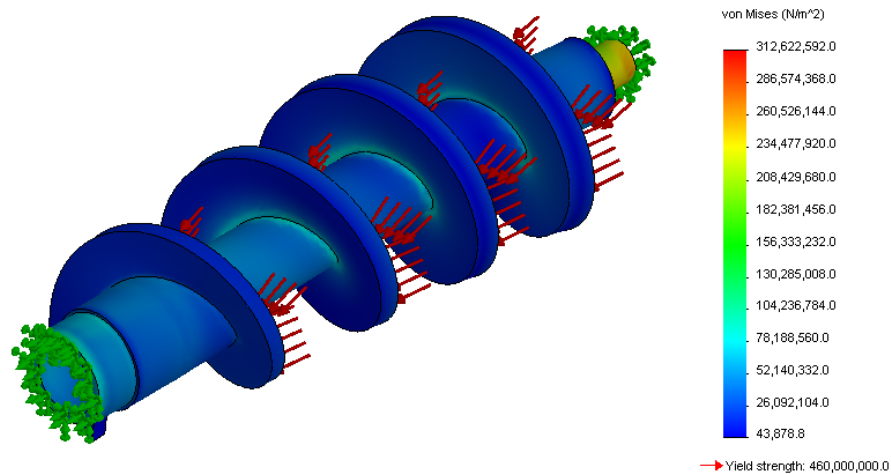
**Tabla 19.**Presiones intermedias a lo largo del tornillo.

PASO[mm]	ESPEJOR FILETE[mm]	PRESION[psi]	INTERPOLACION POR PASO	INTERPOLACION POR ESPEJOR	PRESION PROMEDIO[psi]
<b>270</b>	27	3,5	3,5	3,5	3,5
<b>240</b>	32		211,87	195,66	203,765
<b>193</b>	37		538,32	387,83	463,075
<b>187</b>	42	580	580	580	580

**Fuente:** Autor.

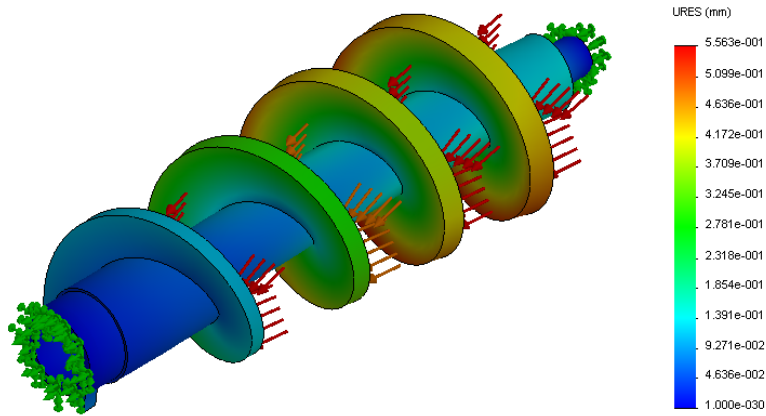
Realizada la simulación se seleccionó el acero SAE 4340 como material para los tornillos de prensado por que los fabricantes de estos elementos recomiendan para su manufactura aceros de baja aleación resistentes al desgaste y de fácil cementación para garantizar la dureza superficial que se necesita para resistir la abrasión a la que es sometido el tornillo por la fricción con el fruto de palma.

**Figura 57.**Análisis CAE tornillo sinfín, Esfuerzo máximo



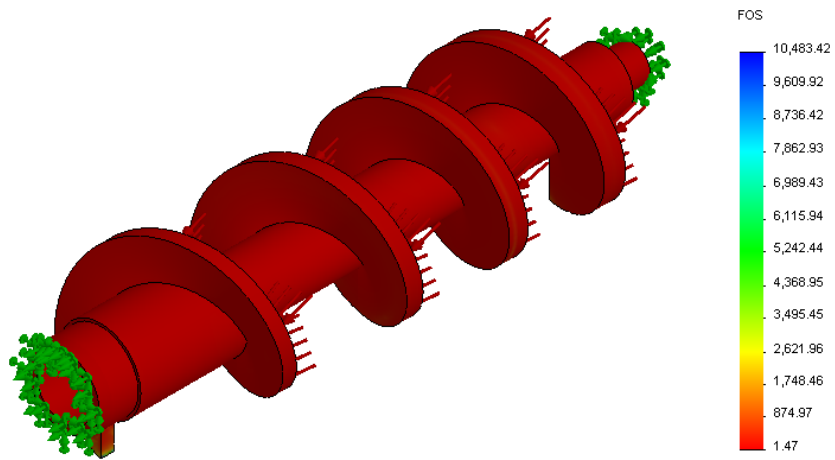
**Fuente:** Autor

**Figura 58.** Análisis CAE tornillo sinfín, desplazamiento máximo



**Fuente:** Autor.

**Figura 59.** Análisis CAE tornillo sinfín, factor de seguridad



**Fuente:** Autor.

Del análisis CAE se obtiene un esfuerzo máximo de 312 [MPa], un desplazamiento máximo de 0.5563 [mm] y factor de seguridad mínimo de 1.5. Con estos resultados se valida el diseño de los tornillos de prensado.

#### 6.4.4 Desgaste en los tornillos de prensado

**Figura 60.** Área crítica de desgaste en los tornillos de prensado



**Fuente:** Autor.

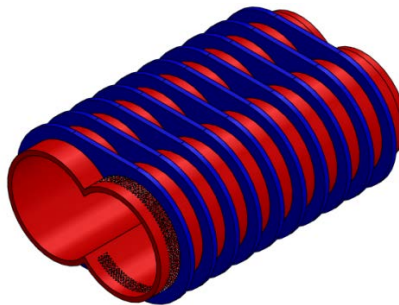
Como se observa en la figura vemos que el área crítica de desgaste de los tornillos de prensado se localiza en los bordes externos del filete por eso es recomendable dejar una distancia mínima de desgaste de al menos 10 mm desde el diámetro exterior del tornillo para garantizar la vida útil del tornillo, ya que en esta zona confluyen grandes fuerzas de rozamiento debido al flujo del fruto de palma.

Esta luz de desgaste se debe dejar para permitir una posterior reconstrucción del tornillo cuando se hacen las labores de mantenimiento de estos equipos. La elección de un acero aleado para los tornillos se hizo más en función del desgaste por abrasión que por resistencia mecánica. Luego el diámetro mínimo de desgaste será  $d_k = 285 \text{ mm}$ , es aconsejable el cambio de los tornillos cuando se llegue a este tope de desgaste pues operar la presa en estas condiciones conlleva una reducción considerable del rendimiento de extracción de aceite.

## 6.5 DISEÑO DE LA CANASTA DE PENSADO.

Para el diseño de la canasta de prensado se tiene en cuenta las recomendaciones dadas en el manual Wambeck. En él se recomienda que la canasta de prensado debe tener un espesor mínimo de 12 mm, los agujeros deben tener un diámetro de 3 x 2 mm y la distancia entre centros debe ser de 6 mm y debe ir soportada externamente con unos anillos que le den mayor rigidez. Con estas recomendaciones y consultando páginas web de algunos fabricantes se dimensiono de canasta de prensado. Con estos datos se decidió construirla la canasta de prensado en lámina de acero de  $\frac{3}{4}$  de pulgada 19 mm y reforzarla con anillos de acero en de 5/8 pul o 15.5 mm de espesor. Se optó por este espesor de la canasta para que resistiera los esfuerzos debidos a la presión y además el desgaste que sufre por el rozamiento entre su superficie interna y el fruto de palma que gira constantemente en su interior. Los anillos de refuerzo van soldados en la parte externa de la canasta espaciados una distancia constante para que el recipiente tenga una resistencia uniforme.

**Figura 61.** Canasta de prensado

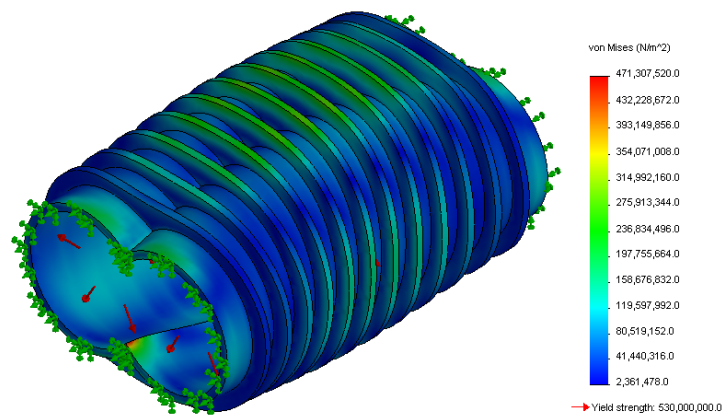


**Fuente:** Autor.

La validación del diseño de la canasta de prensado se realizó haciendo un análisis de esfuerzos utilizando el módulo de simulación de SolidWorks ya que básicamente la canasta de prensado es un recipiente presión. Para la simulación

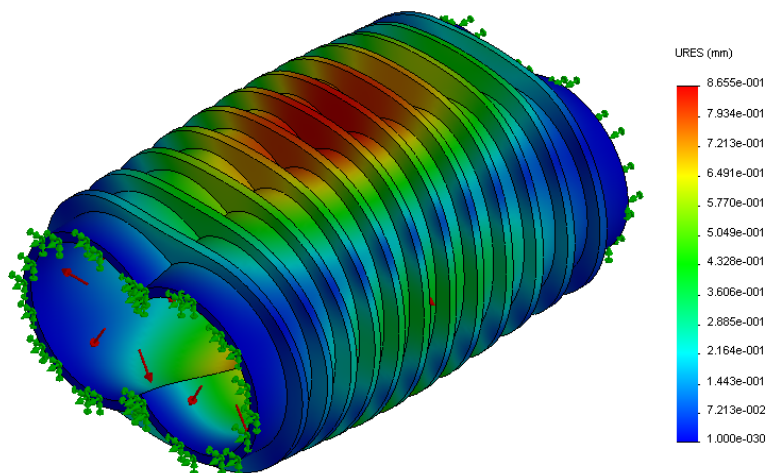
se usó acero SAE 1045 y se tomó el máximo valor de presión del rango que anteriormente se había definido para el diseño. Se tomaron como fijos los extremos de la canasta de prensado y se aplicó la presión en la cara interna. A continuación se muestran los resultados del análisis de esfuerzos que validaron el diseño de la canasta de prensado.

**Figura 62.** Análisis CAE canasta de prensado a 580 psi, Esfuerzo máximo



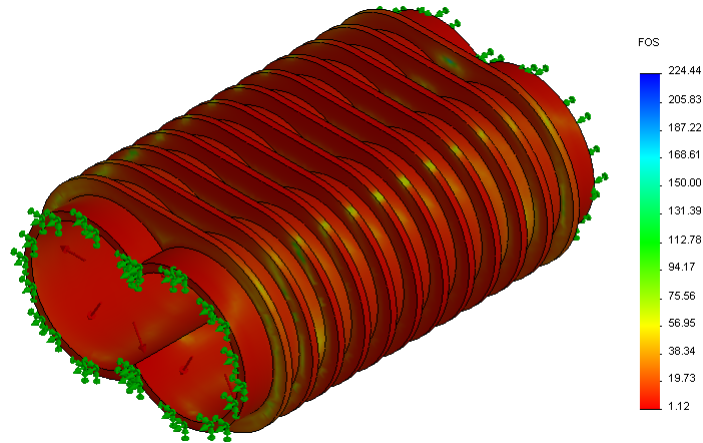
**Fuente:** Autor.

**Figura 63.** Análisis CAE canasta de prensado a 580 psi, Desplazamiento



**Fuente:** Autor.

**Figura 64.** Análisis CAE canasta de prensado 580 psi, Factor de seguridad



**Fuente:** Autor.




























Del análisis CAE se obtiene un esfuerzo máximo de 471 [MPa], un desplazamiento máximo de 0.865 [mm] y un factor de seguridad mínimo de 1.12. Con estos resultados se valida el diseño de la canasta de prensado. Con estos resultados se definió el acero SAE 1045 como material para la canasta de prensado por su buena resistencia mecánica, buena ductilidad y dureza así como su buena respuesta a tratamientos térmicos.

## 6.6 DISEÑO DE LOS ENGRANAJES

El proceso de prensado requiere que los dos tornillos sinfín giren solidariamente es por esto que se requieren de este par de engranajes. Para el diseño de los dos engranajes se utilizó el software MDESING que está basado en las normas AGMA y nos facilita el proceso de diseño de los engranajes pues permite hacer repetidas iteraciones para hallar la solución más óptima para el diseño de la transmisión. Para el diseño de los engranajes se tuvo en cuenta que la distancia entre centros de 240 mm es fija, esta se obtiene al centrar los tornillos sin fin respecto a la canasta de prensado. Con este valor y variando el número de dientes y los pasos diametrales estandarizados que recomienda la norma AGMA se encontró que un

paso diametral de 2 y 19 dientes en el engranaje satisfacen la distancia entre centros establecida, la potencia a transmitir entre el par de engranajes es de 20 hp y la velocidad de rotación es de 14 rpm. Estos fueron los datos de entrada al programa, en la gráfica podemos ver tanto las variables de entrada como los resultados que arroja el programa.

**Tabla 20.** Variables de entrada, diseño de engranajes

Spur Gearing			
Pressure angle	 	20°	
Diametral pitch	  	Pd =	2 teeth/in
Face width	 	F =	6.3 in
Transmitted power	 	P =	20 hp
Rotational speed of pinion		np =	14 rpm
Number of pinion teeth		Np =	19
Desired output speed		ng =	14 rpm
Design life		L =	20000 h
Number of load applications per revolution		q =	1
Rim thickness of pinion and gear	 	tr =	1.125   1.125 in
Gear application		Commercial enclosed gear units	
Elastic coefficient	 	Cp =	2300
Overload factor	 	Ko =	1
Factor of safety	 	SF =	1
Hardness ratio factor	 	Ch =	1
Reliability factor	 	Kr =	1

**Fuente:** MDESING.

**Tabla 21.**Resultados, diseño de engranajes

<b>Results</b>				
Actual output speed	ng	=	14.000	rpm
Actual number of gear teeth	Ng	=	19	
Gear ratio	mg	=	1.000	
Quality number	Qv	=	7.000	
<u>Geometry parameters</u>				
			<u>Pinion</u>	<u>Gear</u>
Pitch diameter	D	=	9.500	9.500 in
Outside diameter	Do	=	10.500	10.500 in
Root diameters	Dr	=	8.250	8.250 in
Base circle diameter	Db	=	8.927	8.927 in
Addendum	a	=	0.500	in
Dedendum	b	=	0.625	in
Clearance	c	=	0.125	in
Circular pitch	p	=	1.571	in
Whole depth	ht	=	1.125	in
Working depth	hk	=	1.000	in
Tooth thickness	t	=	0.785	in
Center distance	C	=	9.500	in
Fillet radius in basic rack	rf	=	0.150	in
			<u>Pinion</u>	<u>Gear</u>
Bending geometry factor	J	=	0.316	0.316
Pitting geometry factor	I	=	0.079	
<u>Force and speed factors</u>				
Pitch line speed	vt	=	34.819	ft/min
Tangential force	Wt	=	18473.684	lbf
Normal force	Wn	=	19659.284	lbf
Radial force	Wr	=	6723.871	lbf
Size factor	Ks	=	1.250	
Load distribution factor	Km	=	1.330	
Dynamic factor	Kv	=	1.066	
			<u>Pinion</u>	<u>Gear</u>
Rim thickness factor	Kb	=	1.292	1.292
Number of load cycle	Nc	=	1.7e+007	1.7e+007
Bending stress cycle factor	Yn	=	1.008	1.008
Pitting stress cycle factor	Zn	=	0.988	0.988
Expected bending stress	St	=	42511.690	42511.690 psi
Expected contact stress	Sc	=	1.910e+005	1.910e+005 psi
Allowable bending stress number	Sat	=	42162.198	42162.198 psi
Allowable contact stress number	Sac	=	1.933e+005	1.933e+005 psi
			<u>Pinion</u>	<u>Gear</u>
Grade 1			509.821	509.821
Grade 2			455.480	455.480
<b>Note</b>				
The hardness cannot be greater than 400 HB for through-hardened steel. Consider using case hardened steel.				

**Fuente:** MDESING.

Como se observa en los resultados arrojados por el software la dureza necesaria para los engranajes es de 510 HB y excede la dureza recomendada de 400 HB es por eso que el software recomienda utilizar acero endurecido térmicamente.

Para los engranajes se selección un acero SAE 4140 que es un acero aleado de medio carbono que posee mediana templabilidad, buena maquinabilidad, alta resistencia, buena tenacidad. Este acero es susceptible al endurecimiento por tratamiento térmico.

Para al alcanzar la dureza superficial necesaria para soportar los esfuerzos de contacto se recomienda hacer un tratamiento térmico de endurecimiento superficial de carburización que garantizara la dureza superficial necesaria y se obtiene también un núcleo dúctil para soportar las cargas de impacto y demás que deban soportar los engranajes.

**Tabla 22.**Propiedades mecánicas del acero SAE 4140.

<b>PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE / TEMPLADO EN ACEITE Y REVENIDO</b>					
Temperatura de revenido (°C)	205	315	425	540	650
Resistencia a la tracción (Mpa)	1772	1551	1248	951	758
Punto de fluencia (Mpa)	1641	1434	1138	834	655
% de Elongación (en 50mm)	8	9	13	18	22
% de Reducción de área	38	43	49	58	63
Dureza Brinell	510	445	370	285	230

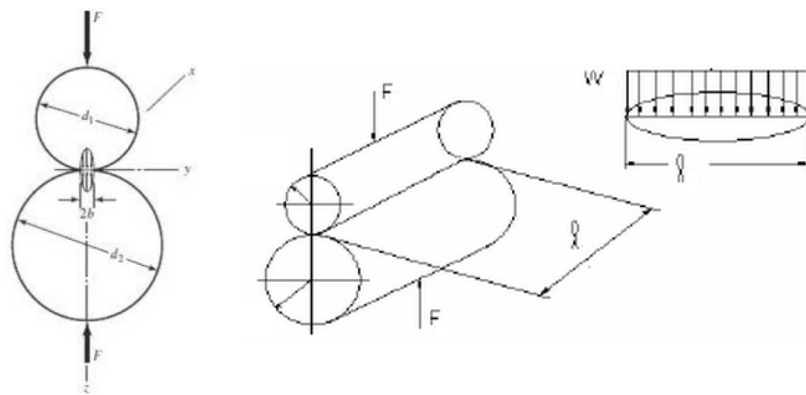
**Fuente:** Compañía general de aceros.

Para validar el diseño de los engranajes se hizo un análisis de esfuerzos utilizando el módulo de simulación de SolidWorks, teniendo en cuenta que existen dos modos de falla principales que afectan a los dientes de los engranes rectos: la fractura por fatiga debido a esfuerzos de flexión en la raíz del diente y a la fatiga

superficial sobre las superficies de los dientes (picadura). Para ver si realmente los engranajes diseñados resisten los esfuerzos por contacto que son los más críticos en este caso se realizó el análisis de esfuerzos basados en el criterio de Hertz y de Buckingham.

El criterio de Hertz establece que cuando dos cilindros en contacto con diámetros  $d_1$  y  $d_2$  y de longitud  $l$  se presionan con una fuerza  $F$  se obtiene un área de contacto en forma de un rectángulo de ancho  $2b$  y de longitud  $l$  y la distribución de la presión es semielíptica tal como se muestra en la figura.

**Figura 65.** Área de contacto según el criterio de Hertz.



**Fuente:** Autor.

Tomando este fundamento como base, Buckingham consideró a los dientes de dos engranes en contacto como dos cilindros paralelos donde el radio de los dientes es el radio de curvatura de la involuta y el punto de contacto lo definió como el punto de paso.

Si consideramos al módulo de elasticidad  $E$  y la relación de Poisson  $\nu$  como las constantes elásticas respectivas de los dos cilindros, la ecuación para calcular el semiancho  $b$  de acuerdo a Hertz y Buckingham es

$$b = \sqrt{\frac{2W \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}}{\pi F \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}} \quad (33)$$

Donde

***b*** es el semiancho del área de contacto rectangular entre la superficie de ambos dientes

***W*** es la carga total de contacto

***F*** es el ancho del diente

***ν*<sub>1</sub>** es la relación de Poisson del piñón

***ν*<sub>2</sub>** es la relación de Poisson del engrane

***E*<sub>1</sub>** es el módulo de elasticidad del piñón

***E*<sub>2</sub>** es el módulo de elasticidad del engrane

***d*<sub>1</sub>** es el diámetro de curvatura del diente del piñón

***d*<sub>2</sub>** es el diámetro de curvatura del diente del engrane

Y la presión máxima sobre el área de contacto es:

$$P_{max} = \frac{2F}{\pi bl} \quad (34)$$

Asumiendo el material para los engranajes SAE 4140 las constantes elásticas serian

$$E = 30 \times 10^6 \text{ PSI}$$

$$\nu = 0.27$$

Y los diámetros de curvatura de los dientes serian

$$d_1 = D_p \sin \varphi \quad (35)$$

Con todas estas consideraciones se inició el análisis tomando los siguientes datos de entrada

- ◆ Potencia a transmitir  $P = 20$  [hp]
- ◆ Velocidad de rotación  $n = 14$  [rpm]
- ◆ Número de dientes del piñón  $N_p = 19$
- ◆ Número de dientes del engrane  $N_g = 19$
- ◆ Paso diametral  $P_d = 2$
- ◆ Número de calidad AGMA  $Q = 7$
- ◆ Ángulo de presión  $\varphi = 20^\circ$

Con estos datos de entradas se calcularon las otras variables complementarias

- ◆ Ancho de la cara del diente:

$$F = \frac{12}{P_d} = \frac{12}{2} = 6 \text{ [in]}$$

- ◆ Diámetro de paso del piñón:

$$D_p = \frac{N_p}{P_d} = \frac{19}{2} = 9.5 \text{ [in]}$$

- ◆ Velocidad en la línea de paso:

$$V_t = \frac{(\pi \cdot D_p \cdot n)}{12} = \frac{\pi * 9.5 * 14}{12} = 34,81 \left[ \frac{ft}{min} \right]$$

- ◆ Carga tangencial:

$$W_t = \frac{33000P}{V_t} = \frac{33000(20)}{34,81} = 18960 \text{ [lb]}$$

- ◆ Carga radial:

$$W_r = W_t \tan \varphi = 18960 \tan(20) = 6900.9 \text{ [lb]}$$

- ◆ Carga total:

$$W = \sqrt{W_r^2 + W_t^2} = 20.176,81 \text{ [lb]}$$

El esfuerzo de contacto en los dientes de un engranaje recto se puede calcular mediante la ecuación (36)

$$S_c = C_p \sqrt{\frac{W_t K_o K_s K_m K_v}{F D_p I}} \quad (36)$$

Donde

$S_c \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	es el esfuerzo de contacto
$C_p$	es el coeficiente elástico
$K_o$	es el factor de sobrecarga
$K_s$	es el factor de tamaño
$K_m$	es el factor de distribución de sobrecarga
$K_v$	es el factor dinámico
$D_p [in]$	es el diámetro de paso
$I$	es el factor geométrico para la picadura
$C_f$	es el factor de condición de superficie

El valor de cada factor de corrección es

$$K_o = 1$$

$$K_s = 1.250$$

$$K_m = 1.330$$

$$K_v = 1.066$$

$$D_p = 9.5$$

$$I = 0.079$$

$$C_f = 2300$$

Remplazando de tiene

$$S_c = 2300 \sqrt{\frac{(18960)(1)(1.250)(1.330)(1.066)}{(6)(9.5)(0.079)}}$$

$$S_c = 198.680,6 \text{ PSI}$$

Sustituyendo todos los valores en la ecuación para determinar el semiancho  $b$  tenemos

$$b = \sqrt{\frac{2(20.176,81) \frac{1-(0.27)^2}{30 \times 10^6} + \frac{1-(0.27)^2}{30 \times 10^6}}{\pi(6) \left( \frac{1}{3.24} + \frac{1}{3.24} \right)}}$$

$$b = 0.01464 \text{ in}$$

El área de contacto entre los dos engranajes sería

$$A = 2bF$$

$$A = 0.1756 \text{ in}^2$$

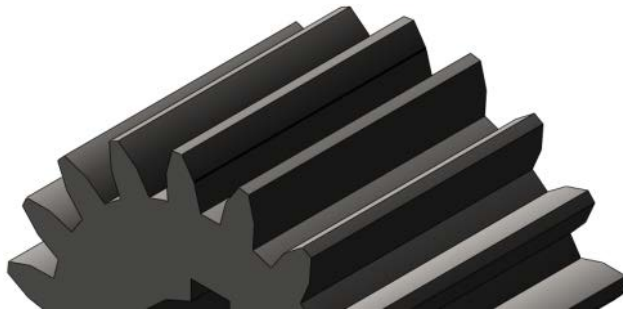
La presión máxima de contacto sería

$$P_{max} = \frac{2(18960)}{\pi(0.01464)(6)}$$

$$P_{max} = 137.412,46 \text{ PSI}$$

Para el análisis de esfuerzos en SolidWorks se creó una pequeña área con los datos calculados anteriormente en el diente a la altura del diámetro de paso donde se aplicara la presión de contacto calculada como se muestra en la figura.

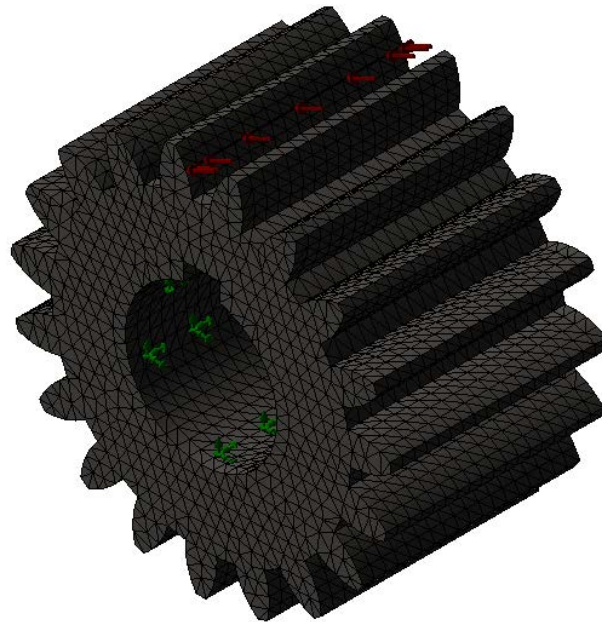
**Figura 66.**Resultados, diseño de engranajes



**Fuente:** Autor.

Luego se definieron las restricciones y se aplicaron las cargas al diente del engranaje

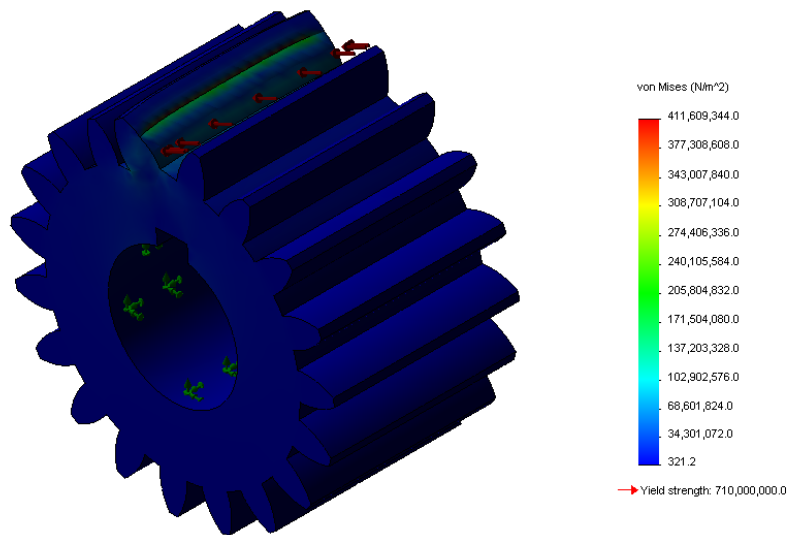
**Figura 67.**Análisis CAE engranajes rectos, cargas y restricciones



**Fuente:** Autor.

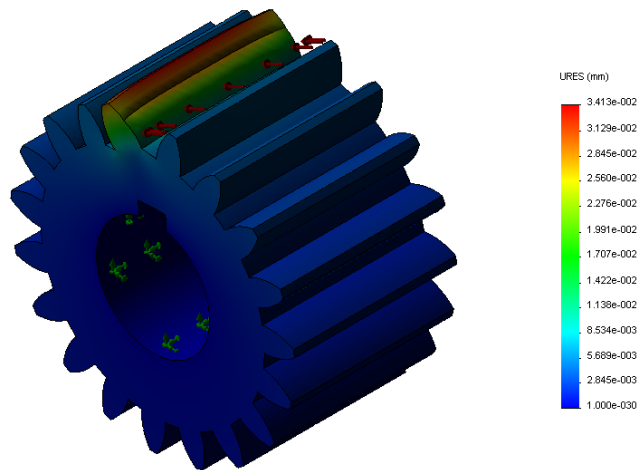
Y se obtuvieron los siguientes resultados

**Figura 68.**Análisis CAE engranajes rectos, esfuerzo máximo



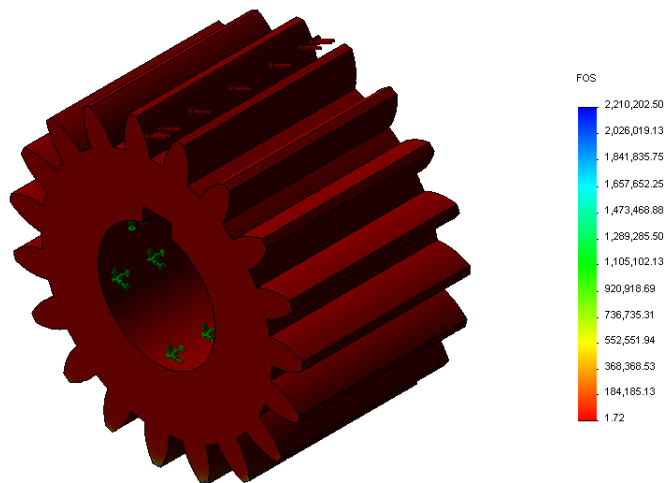
**Fuente:** Autor.

**Figura 69.**Análisis CAE engranajes rectos, desplazamiento máximo



**Fuente:** Autor.

**Figura 70.**Análisis CAE engranajes rectos, Factor de seguridad



**Fuente:** Autor.

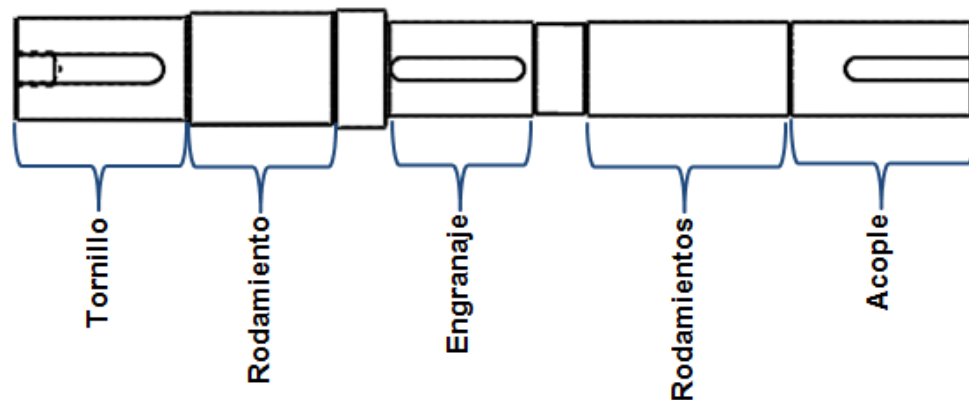
Del análisis CAE se obtiene un esfuerzo máximo de 411 [MPa], un desplazamiento máximo de 0.03413 [mm] y un factor de seguridad mínimo de 1.72. Con estos resultados se valida el diseño de los engranajes rectos. Garantizando que soportaran los grandes esfuerzos de contacto que se generan al transmitir la cantidad de torque tan grande que requiere el proceso.

## 6.7 DISEÑO DE LOS EJES DE TRANSMISIÓN

### 6.7.1 Diseño del eje conductor

La transmisión por engranajes rectos que permiten el movimiento solidario de los sinfines de prensado requiere de dos ejes donde van montados los dos engranajes rectos y los dos tornillos sinfín.

**Figura 71.**Eje conductor, prensa extracción de aceite



**Fuente:** Autor.

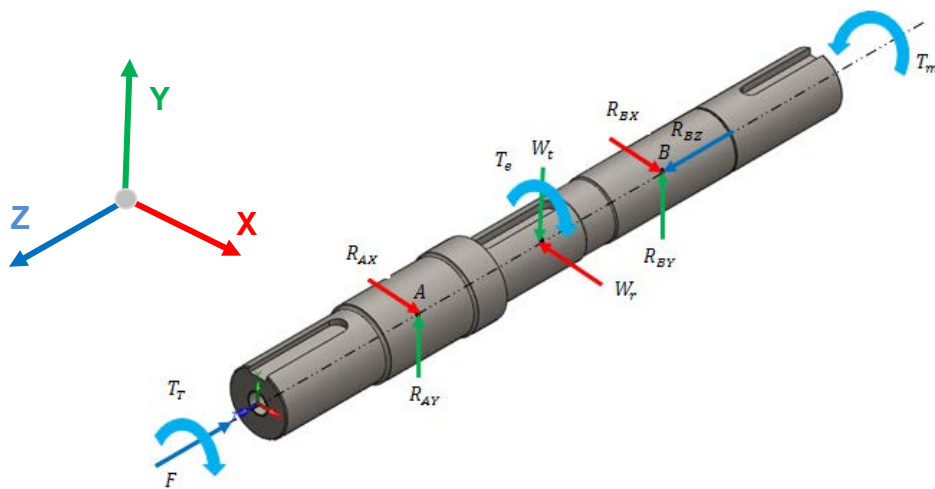
Aunque los ejes conductor y conducido prácticamente son iguales, el eje conductor es el más crítico ya que este debe soportar el torque que proviene del reductor, se analizara el diseño de este eje ya que el eje conducido soporta menos cargas y tendrá casi exactamente la misma geometría solo se diferencian en que el eje conducido no tiene la sección donde va el acople a reductor.

El motor eléctrico entrega 40 hp de potencia aproximadamente requerida para el proceso, luego de pasar por la transmisión por correas y el reductor de velocidad al eje conductor llegan alrededor de 36 hp por las eficiencias en la trasmisión de potencia. El torque entregado por el reductor es de  $20.500 N \cdot m$  a 14 rpm. De los cuales la mitad pasa al eje conducido a través del engranaje recto. De esta

manera se tienen  $10.250 N \cdot m$  ( $90.000 Lb \cdot in$ ) en cada eje para que trabaje cada tornillo.

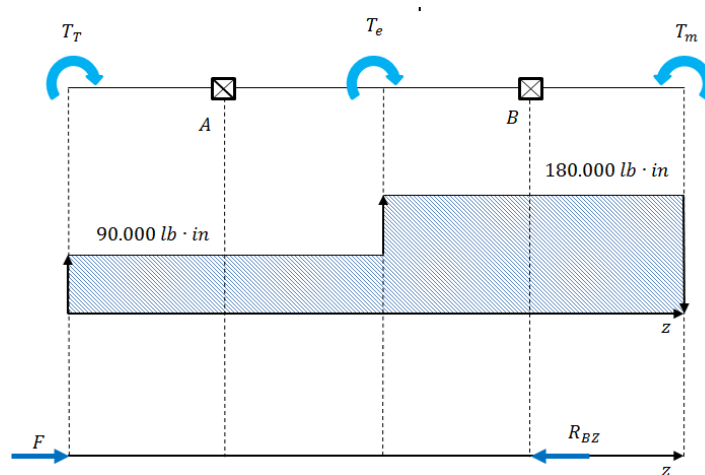
En el diseño de los engranajes se obtuvieron las fuerzas que entre ellos se generan esas fuerzas también deberán ser soportadas en la figura se pueden ver las fuerzas que deberá soportar el eje  $W_T = 18960[lb]$  y  $W_R = 6900[lb]$ .

**Figura 72.**Fuerzas y torques actuantes en el eje conductor



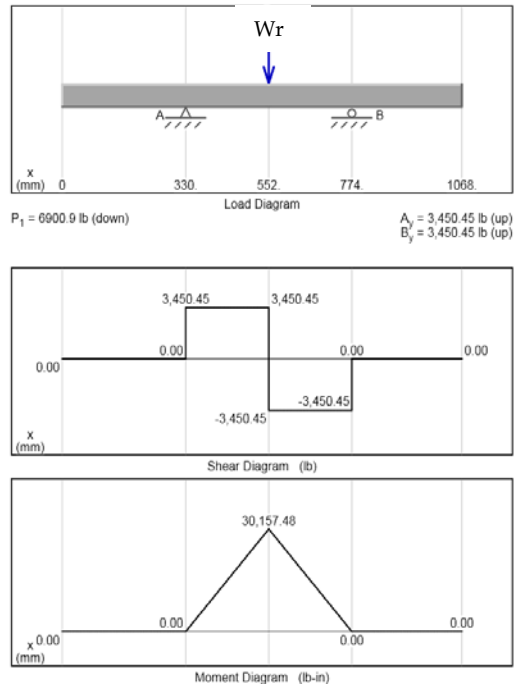
**Fuente:** Autor.

**Figura 73.**Diagrama de torques y fuerza axial eje conductor



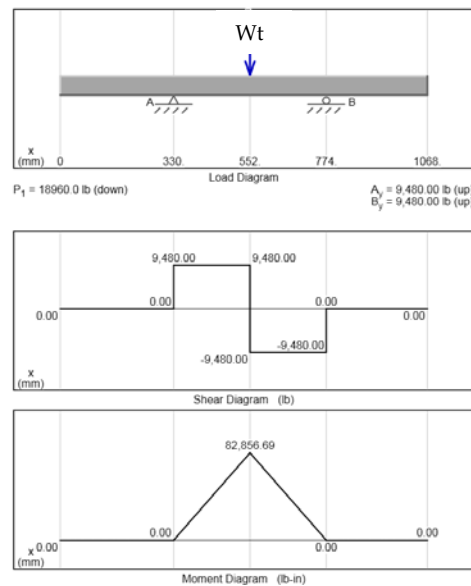
**Fuente:** Autor

**Figura 74.**Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector en el plano XZ eje conductor



**Fuente:** MD SOLIDS 3.5.

**Figura 75.**Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector en el plano YZ, eje conductor



**Fuente:** MD SOLIDS 3.5.

Como podemos ver en los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector la sección crítica del eje se encuentra dónde van montados los engranajes rectos para esta sección el momento flector resultante será:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = \sqrt{(30.157)^2 + (82.856)^2}$$

$$M = 88.173,74 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

El torque que debe soportar la sección crítica es

$$T = 90.000 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

El diámetro mínimo en la sección crítica del eje lo podemos calcular mediante la siguiente expresión utilizada para ejes sometidos a flexión y a torsión

$$D = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{K_t M}{S_n'} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (37)$$

Donde

$K_t = 2.5$  es el factor de concentración de esfuerzos, chaflan agudo

$N = 2$  es el factor de diseño recomendado para ejes

$S_n' = S_n C_s C_r$  es la resistencia a la fatiga modificada

$C_s$  es el factor de tamaño

$C_r$  es el factor de confiabilidad

$S_y$  es la resistencia a la fluencia

$T$  es el torque

El material del eje se definió como SAE 4340 que es un acero aleado ideal para ejes de transmisión que soportan grandes esfuerzos como en este caso.

$$S_y = 152.000 \text{ PSI}$$

$$S_n = 35.000 \text{ PSI}$$

$$S_n' = 35.000(1)(0.75) = 26250 \text{ PSI}$$

**Tabla 23.**Propiedades mecánicas, Acero SAE 4340

PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE					
Estado de Suministro	Resistencia a la tracción MPa	Limite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en Caliente	620 - 750	441	20	50	210 - 240
Calibrado	750 - 850	635	10	30	240 - 260
Bonificado	860 - 1080	785	19	45	260 - 320

**Fuente:** Compañía general de acero.

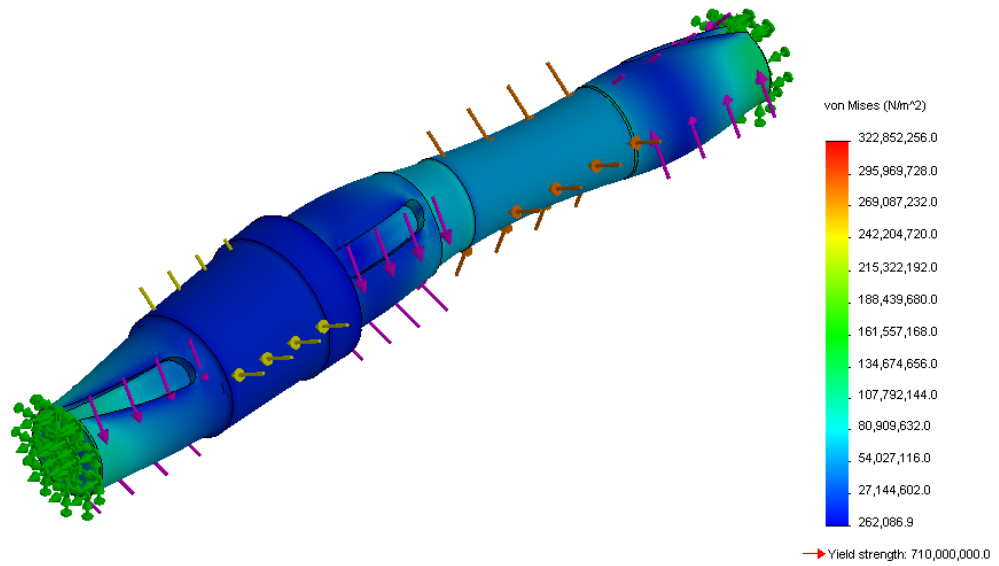
Ahora podemos calcular el diámetro mínimo del eje en la sección crítica

$$D = \left[ \frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{(2.5)(88.173)}{26.250} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{90.000}{152.000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 4.021 \text{ in} \cong 100 \text{ mm}$$

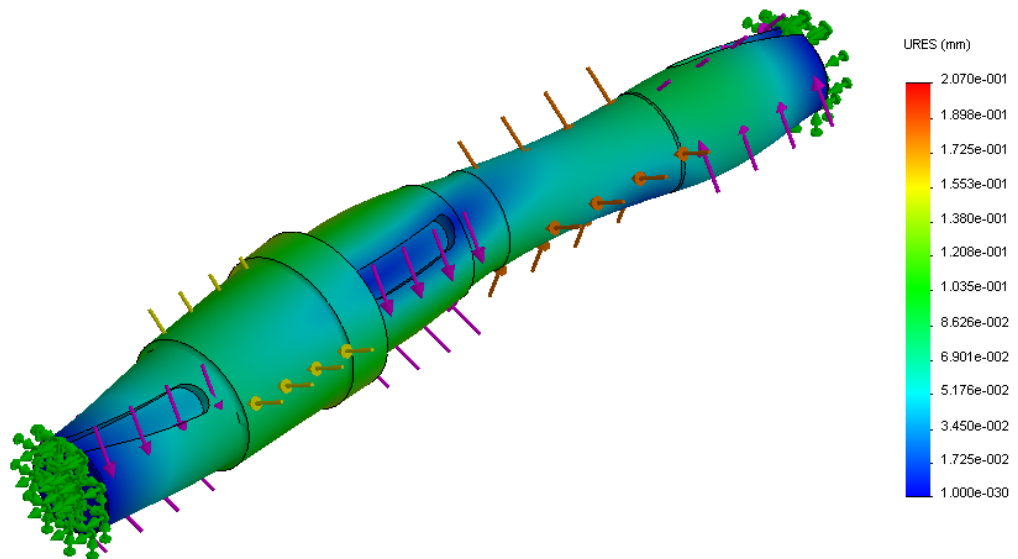
Para validar el diseño del eje conducido se realizó un análisis de esfuerzos en SolidWorks con la información de las fuerzas y torques que actúan sobre el eje.

**Figura 76.** Análisis CAE eje conductor prensa, esfuerzo máximo



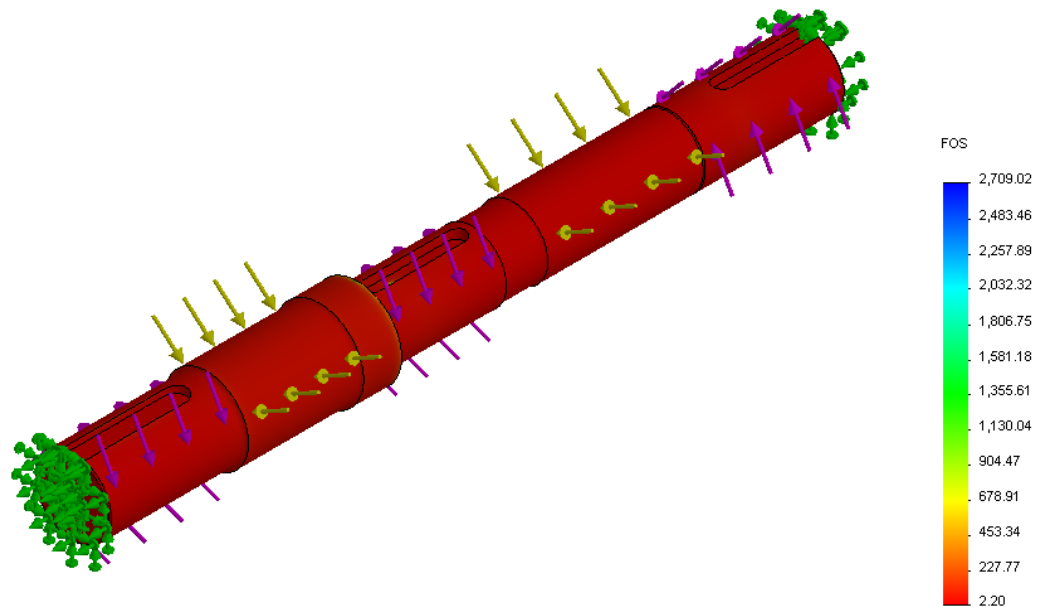
**Fuente:** Autor.

**Figura 77.** Análisis CAE eje conductor prensa, desplazamiento máximo



**Fuente:** Autor.

**Figura 78.** Análisis CAE eje conductor prensa, desplazamiento



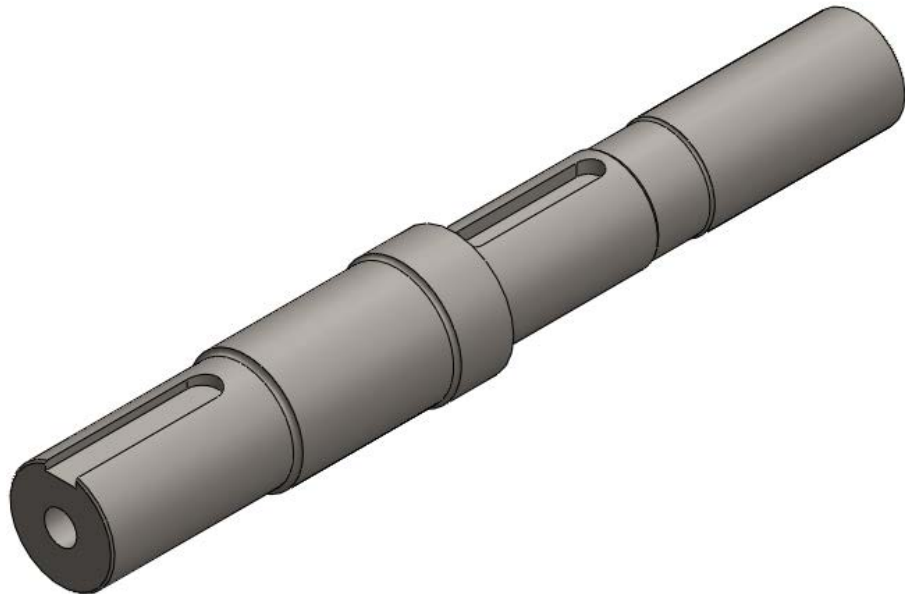
**Fuente:** Autor.

Del análisis CAE se obtiene un esfuerzo máximo de 322.8 [MPa], un desplazamiento máximo de 0.207 [mm] y un factor de seguridad mínimo de 2.20. Con estos resultados se valida el diseño del eje conductor.

### 6.7.2 Diseño del eje conducido

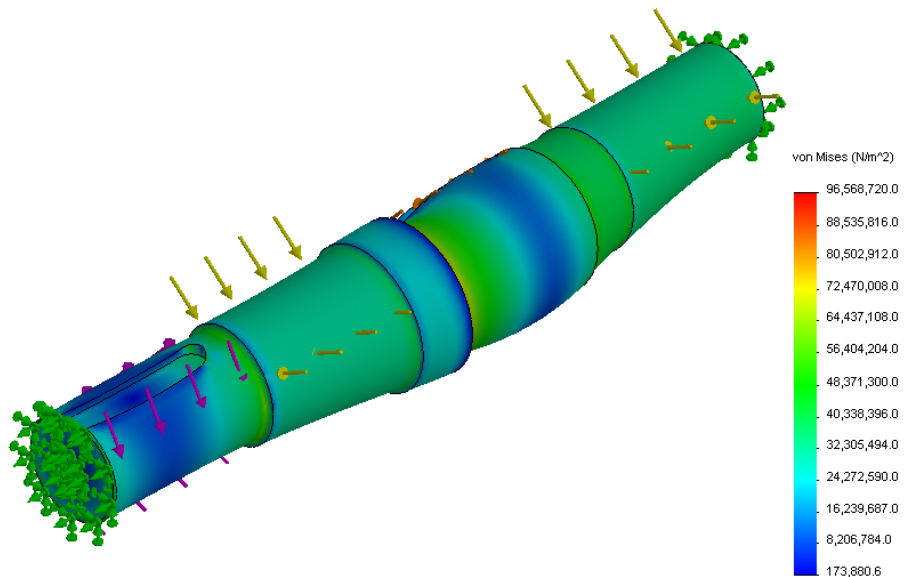
Para el diseño del eje conducido se tomó la misma geometría base del eje conducido, se omitió el tramo en el que va el acople y se hizo un análisis de esfuerzos en SolidWorks pues este eje soporta menos cargas que el eje conductor a continuación se muestran los resultados del análisis de esfuerzos.

**Figura 79.**CAD eje conducido



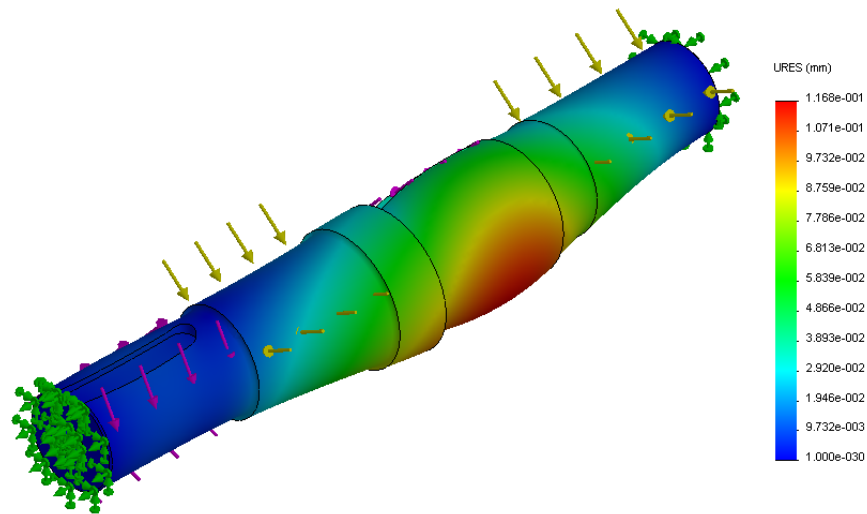
**Fuente:** Autor.

**Figura 80.**Análisis CAE eje conducido prensa, esfuerzo máximo



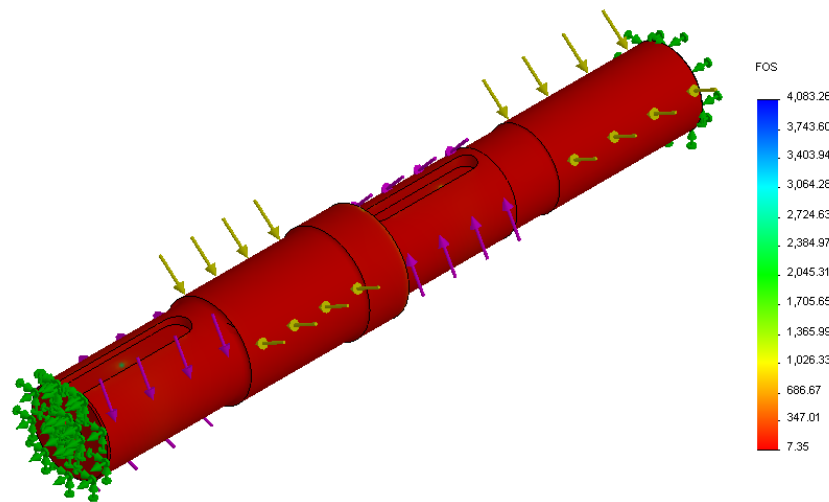
**Fuente:** Autor.

**Figura 81.** Análisis CAE eje conducido prensa, desplazamiento.



**Fuente:** Autor.

**Figura 82.** Análisis CAE eje conducido prensa, factor de seguridad.



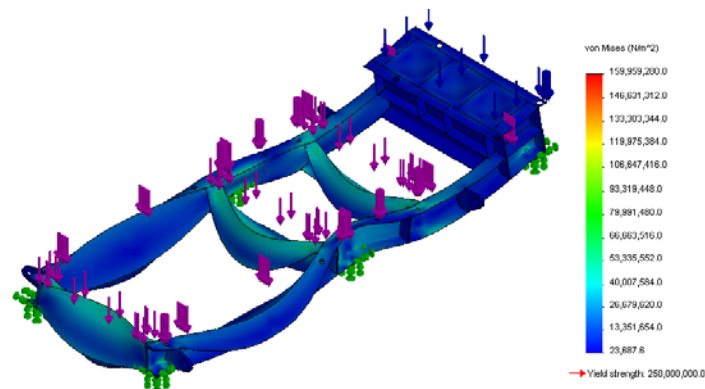
**Fuente:** Autor.

Del análisis CAE se obtiene un esfuerzo máximo de 96.5 [MPa], un desplazamiento máximo de 0.116 [mm] y un factor de seguridad mínimo de 7.35. Con estos resultados se valida el diseño del eje conducido.

## 6.8 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL

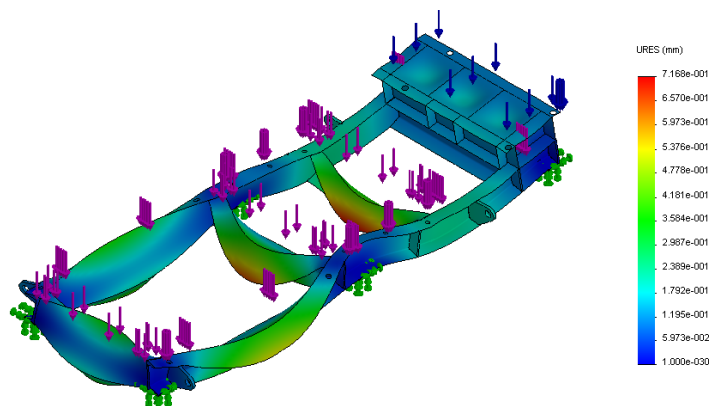
Como ya se mencionó la estructura principal soporta el peso total de la prensa y las cargas que puedan generarse en el proceso. El diseño de la estructura principal es un arreglo rectangular de perfiles en C de acero estructural. Para validar el diseño de la estructura solo se hizo un análisis de esfuerzos en SolidWorks para observar el comportamiento de la estructura frente al peso muerto de los elementos de la prensa a continuación podemos ver los resultados obtenidos de la simulación.

**Figura 83.** Análisis CAE estructura principal, esfuerzo máximo



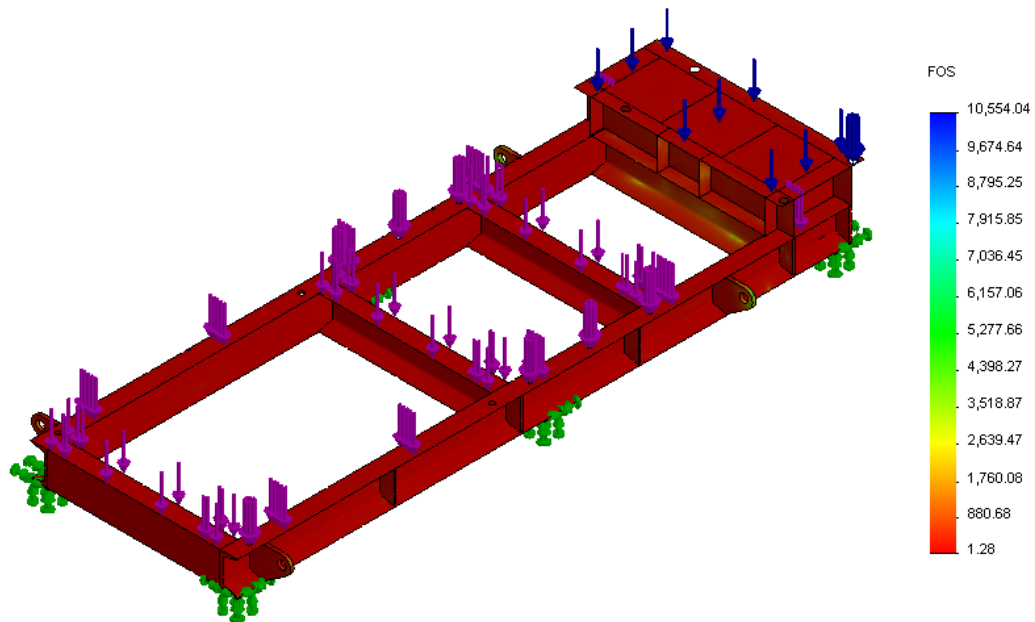
**Fuente:** Autor.

**Figura 84.** Análisis CAE estructura principal, desplazamiento



**Fuente:** Autor

**Figura 85.**Análisis CAE estructura principal, factor de seguridad



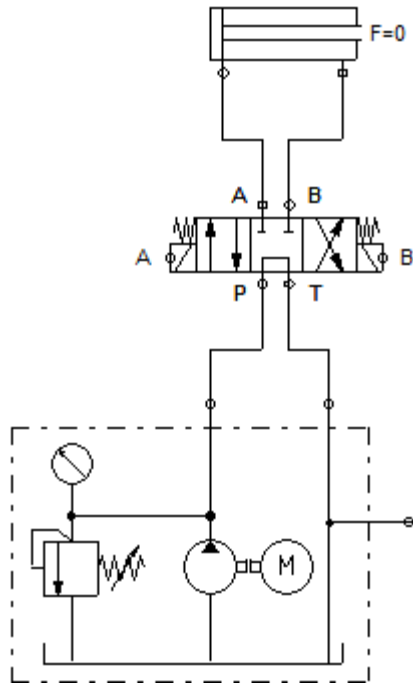
**Fuente:** Autor.

Del análisis CAE se obtiene un esfuerzo máximo de 159.9 [MPa], un desplazamiento máximo de 0.716 [mm] y un factor de seguridad mínimo de 1.3. Con estos resultados se valida el diseño de la estructura principal de la prensa.

## 6.9 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRAULICO

El sistema hidráulico en la prensa de extracción de aceite de palma se utiliza para accionar los conos de contrapresión mediante un cilindro hidráulico comandado por una válvula direccional. Para el diseño de la prensa se planteó hacer el diseño del circuito hidráulico y seleccionar los componentes necesarios para construir el sistema hidráulico.

**Figura 86.** Circuito hidráulico básico para operación manual de la prensa



**Fuente:** Autor.

Para comenzar con el diseño hidráulico se recolectaron datos de operación requeridos para el proceso tales como presión hidráulica, taraje de la válvula de seguridad capacidad del tanque tipo de aceite etc. El manual Wambeck en este sentido recomienda los siguientes parámetros de operación.

**Tabla 24.** Parámetros de diseño sistema hidráulico.

<b>Presión de operación</b>	60 a 70 Bares (870 a 1015 PSI)
<b>Capacidad del tanque hidráulico</b>	30 litros (8 galones)
<b>Aceite hidráulico</b>	Shell Tellus 100
<b>Viscosidad del aceite</b>	ISO VG 100
<b>Temperatura del aceite hidráulico</b>	90 C

**Fuente:** Autor.

Con estos parámetros de operación establecidos se procedió al diseño del sistema hidráulico. Para comenzar el diseño se seleccionó el actuador hidráulico en este caso un cilindro hidráulico de doble efecto. Ya que después de definir el actuador se pueden seleccionar el resto de componentes del circuito.

Como se estableció anteriormente la presión de prensado es la suma de la presión creada por los tornillos y la presión generada por los conos

$$P_{tornillos} + P_{conos} = P_{prensado} \quad (38)$$

La presión de prensado se fijó en el rango de 430 a 580 psi (30 a 40 bares), para los cálculos se asume que la presión de prensado sea el mayor valor es decir

$$P_{tornillos} + P_{conos} = 580$$

Para mantener constante la presión de prensado, la presión generada por los tornillos y por los conos de contrapresión deben ser iguales luego

$$P_{tornillos} = P_{conos} = 0.5P_{prensado} = 290 \text{ psi}$$

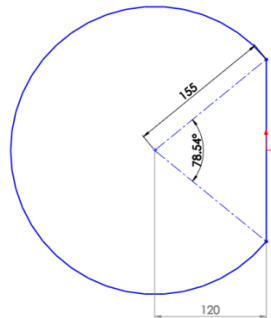
Conociendo el valor de la presión y el área transversal del área de prensado donde actúan los conos de contra presión podemos determinar la fuerza de reacción que debe ejercer los conos sobre la torta de prensado.

$$F_{cono} = P_{conos} A_{Tcono} \quad (39)$$

El área transversal del cono de contrapresión sería

$$A_{Tcono} = 141.567,85 \text{ mm}^2 = 219.5 \text{ in}^2$$

**Figura 87.**Área transversal cono de contra presión



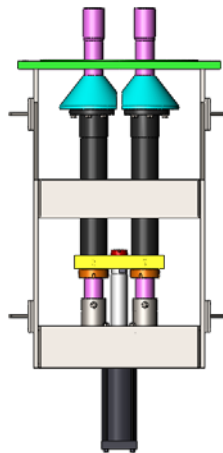
**Fuente:** Autor

Y la fuerza de reacción ejercida por un cono sería

$$F_{cono} = (290 \text{ psi})(109.75 \text{ in}^2)$$
$$F_{cono} = 31.870 \text{ lb}$$

Como se ve en la figura el cilindro activa los dos conos de contrapresión mediante un soporte que va sobre las guías por donde se mueven los conos dividiendo la fuerza de reacción dada por el cilindro en dos partes luego

**Figura 88.**Cilindro de accionamiento de los conos de contrapresión



**Fuente:** Autor.

$$F_{cilindro} = 2F_{cono} \quad (40)$$

$$F_{cilindro} = 63655 \text{ [lb]} = 280 \text{ [kN]}$$

Conociendo la presión de operación del circuito hidráulico (70 bares) se fijó la presión máxima del sistema como

$$P_{max} = 1.2P_{operacion}$$

$$P_{max} = 1.2(70) = 85 \text{ bares}$$

Con estos datos entramos al software de preselección de cilindros de Bosch Rexroth disponible en su página web para ver que cilindro es el adecuado para nuestra aplicación. Para comenzar se ingresa el valor de la presión máxima del sistema y a continuación el programa muestra el valor máximo de fuerza en compresión y tensión que se puede desarrollar a esa presión así como la carrera del cilindro. Se ingresó el valor más alto de fuerza en compresión que se puede obtener, este valor es muy cercano al valor de fuerza que se calculó.

**Figura 89.** Cilindro de accionamiento de los conos de contrapresión.

**Fuente:** Autor.

Con los datos de fuerza y carrera del cilindro el software arroja las dimensiones y factores de seguridad y las normas con las que cumple ese tipo de cilindro

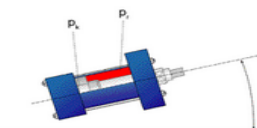
**Tabla 25.** Cilindro seleccionado para accionamiento de los conos de contrapresión

Tie rod cylinder  
CDMX3

Preselección												
Alcance	D [mm]	d [mm]	Extremo de la varilla del pistón	sf1	SF2	SF3	SF4	pk [bar]	pr [bar]	N	Normas	rd
T3	200	90	Tema (ISO / DIN) para la auto-alineación de la horquilla CGKA	7.4	13.1	7.4	13.1	85	85	Sin límites	DIN 24554, ISO 6020/2, NF / ISO 6020-2	
T3	200	90	Rosca interior	7.4	9.4	7.4	9.4	85	85	No disponible	DIN 24554, ISO 6020/2, NF / ISO 6020-2	
T3	200	90	Con grifo	7.4	4.5	7.4	4.5	85	85	No disponible	DIN 24554, ISO 6020/2, NF / ISO 6020-2	

Se conforma a las Rexroth AG factores de seguridad recomendadas Bosch (SF1 = 3,5, SF2 = 2,0).

D : Diámetro Diámetro  
d : Diámetro de vástago  
sf1 : Pandeo factor de seguridad en el cálculo de la presión de carga  
SF2 : Bending factor de seguridad en el cálculo de la presión de carga  
SF3 : Factor de seguridad para el pandeo de cálculo en la presión del sistema  
SF4 : Factor de seguridad para el cálculo de flexión en la presión del sistema  
pk : Pk presión de carga (en pr = 0)  
pr : La presión de carga pr (al pk = 0)  
N : Ciclos de carga calculados  
rd : Documentación técnica



**Fuente:** Autor.

Una vez seleccionado el actuador hidráulico se procedió a seleccionar los demás elementos del circuito hidráulico. Primero se comenzó por seleccionar una bomba hidráulica que cumpliera con los requerimientos de presión y caudal que necesita el actuador hidráulico. Como no se conoce el valor de la velocidad del actuador pero si la capacidad del tanque hidráulico podemos conocer el caudal que debería entregar la bomba hidráulica.

$$Capacidad_{tanque} = 3Q_{bomba} \quad (41)$$

$$Q_{bomba} = 3 \left[ \frac{gal}{min} \right] = 11.36 \left[ \frac{l}{min} \right]$$

Como primera medida se seleccionó una bomba de paletas V10 Vickers basados en la presión máxima del sistema y el caudal que desarrolla la bomba a 1200 rpm.

**Tabla 26.** Especificaciones técnicas bomba de paletas Vickers V10.

Ring size		Data based on performance at oil temperature of 49° C (120° F), viscosity 32 cSt at 38° C (150 SUS at 100° F)							
		7 bar (100 psi)		69 bar (1000 psi)		138 bar (2000 psi)		155 bar (2250 psi)	
V10 single pump †	V20 single pump ‡	Lpm (USgpm)	Input kW (hp)	Lpm (USgpm)	Input kW (hp)	Lpm (USgpm)	Input kW (hp)	Lpm (USgpm)	Input kW (hp)
1	-	3,8 (1)	0,2 (.3)	2,7 (.7)	0,5 (.8)	2,5 (.65)	1 (1.4)	2,3 (.6)	1,2 (1.6)
2	-	7,6 (2)	0,2 (.3)	6,8 (1.8)	1,3 (1.75)	6,4 (1.7)	2,2 (3)	6 (1.6)	2,8 (3.8)
3	-	11,4 (3)	0,3 (.4)	10,6 (2.8)	1,6 (2.2)	10,2 (2.7)	3,3 (4.4)	9,8 (2.6)	3,7 (5)
4	-	15,1 (4)	0,3 (.4)	14 (3.7)	2,2 (3)	13,6 (3.6)	4,3 (5.8)	13,2 (3.5)	4,8 (6.5)
5	-	18,9 (5)	0,4 (.6)	18,2 (4.8)	2,7 (3.6)	17,4 (4.6)	5,2 (7)	17 (4.5)	5,8 (7.8)
6	-	23,1 (6.1)	0,7 (.9)	21,6 (5.7)	3,7 (5)	20,4 (5.4)	6,7 (9)	20,1 (5.3)	7,5 (10)
7	-	27,2 (7.2)	0,7 (1)	25,7 (6.8)	4,1 (5.5)	24,6 (6.5)	7,8 (10.4)	23,8 (6.3)	8,7 (11.6)
-	6	23,5 (6.2)	0,9 (1.25)	20,1 (5.3)	3,6 (4.9)	19,7 (5.2)	6,3 (8.4)	19,3 (5.1)	7,5 (10)
-	7	26,9 (7.1)	0,9 (1.25)	25 (6.6)	3,7 (5)	23,5 (6.2)	6,9 (9.2)	23,1 (6.1)	8,6 (11.5)
-	8	31 (8.2)	0,9 (1.25)	28,8 (7.6)	4,2 (5.6)	27,2 (7.2)	8,1 (10.9)	26,9 (7.1)	10,4 (14)
-	9	34,8 (9.2)	1 (1.3)	32,6 (8.6)	4,6 (6.2)	31 (8.2)	9 (12.1)	30,7 (8.1)	11,9 (16)
-	11	43,5 (11.5)	1 (1.3)	37,8 (11)	5,7 (7.6)	39,7 (10.5)	10,9 (14.6)	39,4 (10.4)	13 (17.5)
-	12	45,4 (12)	1 (1.3)	43,2 (11.4)	6,1 (8.2)	40,9 (10.8)	11,6 (15.6)	-	-
-	13	51,1(13.5)	1 (1.3)	49,2 (13)	6,6 (8.8)	47,3 (12.5)	12,4 (16.7)	-	-

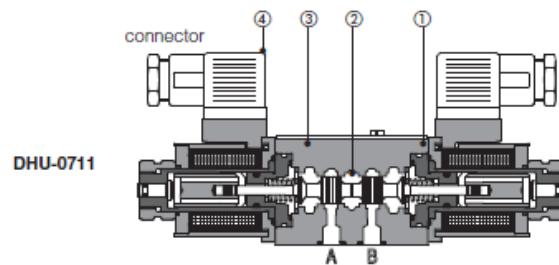
**Fuente:** Catalogo Eaton- Vickers

Se seleccionó una bomba de paletas por que este tipo de bombas cubren la zona de caudales pequeños y medios con presiones de funcionamiento hasta 3000 psi. Son fiables, de rendimiento elevado, y de fácil mantenimiento. Además, tienen un bajo nivel sonoro y una larga duración.

Una vez se seleccionó la bomba hidráulica se continuo con la selección de la válvula direccional, que es la encargada de permitir que el cilindro avance o retroceda según se requiera para aumentar o disminuir la presión dentro de la canasta de prensado.

Como ya conocemos el caudal que genera la bomba y la presión máxima del sistema se seleccionó una válvula de cuatro vías tres posiciones de centro tándem accionada por solenoides centrada por resortes de la marca atos hydraulics.

**Tabla 27.** Especificaciones técnicas válvula direccional seleccionada



Assembly position / location	Any position for all valves except for type - 070* (without springs) that must be installed with horizontal axis if operated by impulses	
Subplate surface finishing	Roughness index Ra 0,4 - flatness ratio 0,01/100 (ISO 1101)	
Ambient temperature	from -20°C to +70°C	
Fluid	Hydraulic oil as per DIN 51524 .... 535; for other fluids see section 11	
Recommended viscosity	15 ÷ 100 mm <sup>2</sup> /s at 40°C (ISO VG 15 ÷ 100)	
Fluid contamination class	ISO 4406 class 21/19/16 NAS 1638 class 10, in line filters of 25 µm (β <sub>25</sub> ≥ 75 recommended)	
Fluid temperature	-20°C +60°C (standard seals and water glycol) -20°C +80°C (/PE seals)	
Flow direction	As shown in the symbols of tables 2 and 3	
<b>Operating pressure</b> For versions with proximity switches (/F/NC and /F/NO versions) maximum counter pressure allowed on T port is 5 bar	<b>DHI</b>	Ports P,A,B: <b>350</b> bar; Port T: <b>120</b> bar
	<b>DHU</b>	Ports P,A,B: <b>350</b> bar; Port T <b>210</b> bar
Rated flow	See diagrams Q/Δp at section 7	
<b>Maximum flow</b>	<b>60 l/min</b> see operating limits at section 8	

**Fuente:** Catalogo Atos hydraulics.

Esta válvula direccional puede trabajar hasta presiones de 350 bares y manejar un caudal máximo de  $60 \frac{l}{min}$  lo que satisface ampliamente nuestras necesidades.

Para continuar con el diseño del circuito hidráulico se seleccionó la válvula de seguridad que limita la presión máxima dentro del circuito sirviendo como protección a los elementos del sistema en caso de subidas abruptas de la presión.

La válvula de seguridad que se selecciono fue una válvula limitadora de presión de mando directo de Bosch Rexroth a continuación se muestran sus características técnicas.

**Tabla 28.** Especificaciones técnicas válvula de seguridad

**Datos técnicos**

(¡consúltenos en caso de utilizar el equipo fuera de los valores indicados!)

<b>generales</b>			
Masa	- Versión *2*	kg	1,4
	- Versión *3*	kg	1,8
Posición de montaje			a voluntad
Rango de temperatura ambiente		°C	-15 ... +80
<b>hidráulicos</b>			
Presión de servicio máxima		bar	315
Contrapresión máxima (conexión T)		bar	160
Presión de ajuste máxima		bar	80; 160; 315
máximo caudal		l/min	60
Fluido hidráulico			ver tabla abajo
Rango de temperatura del fluido hidráulico		°C	-15 ... +80
Rango de viscosidad		mm <sup>2</sup> /s	10 ... 500
Grado de ensuciamiento máximo admisible del fluido hidráulico clase de pureza según ISO 4406 (c)			Clase 20/18/15 <sup>1)</sup>

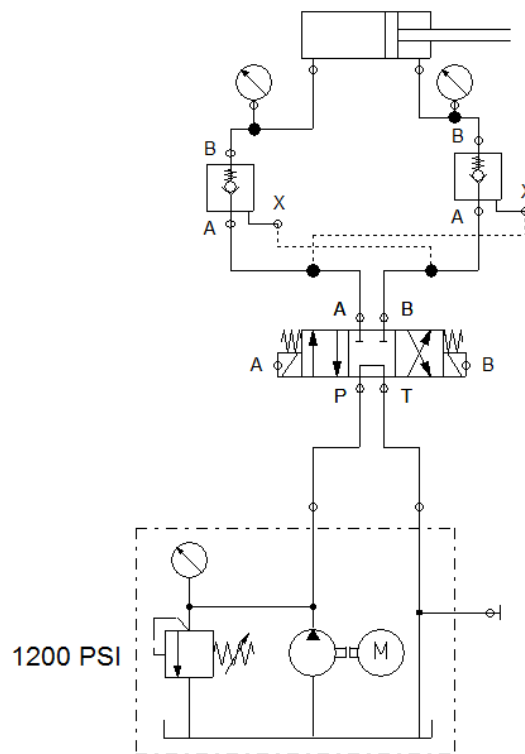


**Fuente:** Catalogo Bosch Rexroth.

Como el caudal manejado en el circuito hidráulico es pequeño y las áreas del actuador hidráulico son grandes la velocidad del actuador no es tan elevada. Además las presiones en el circuito no son tan altas, luego no hay necesidad de utilizar despresurización para evitar cambios bruscos de presión en el sistema cuando se inicie el movimiento del actuador. Para corroborar esto se realizó una simulación del circuito hidráulico en el software FESTO FluidSIM Hidráulica, donde se observó que no existen cambios bruscos de presión cuando se energizan los solenoides de la válvula direccional. Confirmando así que no es necesario una válvula de cheque pilotado para despresurizar el circuito antes de mover el actuador. Finalmente se decidió incluir en el circuito un cheque pilotado en la entrada y en la salida del actuador para evitar el movimiento del vástago cuando la direccional está centrada manteniendo la presión durante la operación del actuador.

El tanque hidráulico deberá tener una capacidad para 30 litros de aceite y contar con todos los accesorios tales como filtro de succión, filtro de ventilación, drenajes, deflectores, mirilla de nivel de aceite y demás elementos necesarios para garantizar la calidad del aceite hidráulico dentro del circuito. El tanque estará hecho de lámina de acero inoxidable y tendrá una dimensiones a aproximadas de 400x400x400 mm .Además de ser el contenedor de aceite hidráulico también servirá de soporte para el motor eléctrico de la bomba, la bomba hidráulica, las válvulas y la instrumentación. La siguiente figura muestra el circuito hidráulico completo con todos los elementos seleccionados.

**Figura 90.** Diseño final Circuito hidráulico para accionamiento manual de la prensa



**Fuente:** Autor.

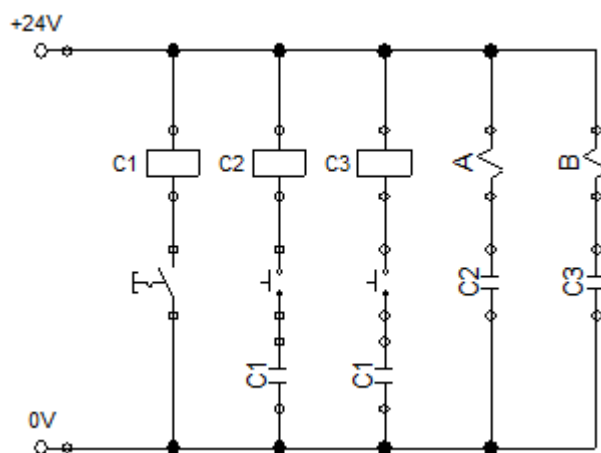
## 6.9.1 Operación del sistema hidráulico

La operación del sistema hidráulico se puede hacer de dos formas diferentes. La primera mediante mando manual y la segunda mediante operación automática a través de un lazo de control.

### 6.9.1.1 Operación manual

La operación manual de la prensa de extracción de aceite se hará a través de pulsadores eléctricos ubicados en un panel de control. El panel de control consta de un interruptor principal que energizara el circuito y dos pulsadores, uno para el avance y el otro para el retroceso del cilindro hidráulico. Estos dos pulsadores energizaran lo solenoides de la válvula direccional permitiendo que el cilindro hidráulico se mueva en uno u otro sentido. El ajuste de los conos de contrapresión dependerá del rendimiento de la extracción de aceite observado por los operarios de la planta. A continuación se muestra el circuito eléctrico para accionar el cilindro hidráulico.

**Figura 91.** Circuito eléctrico accionamiento manual sistema hidráulico

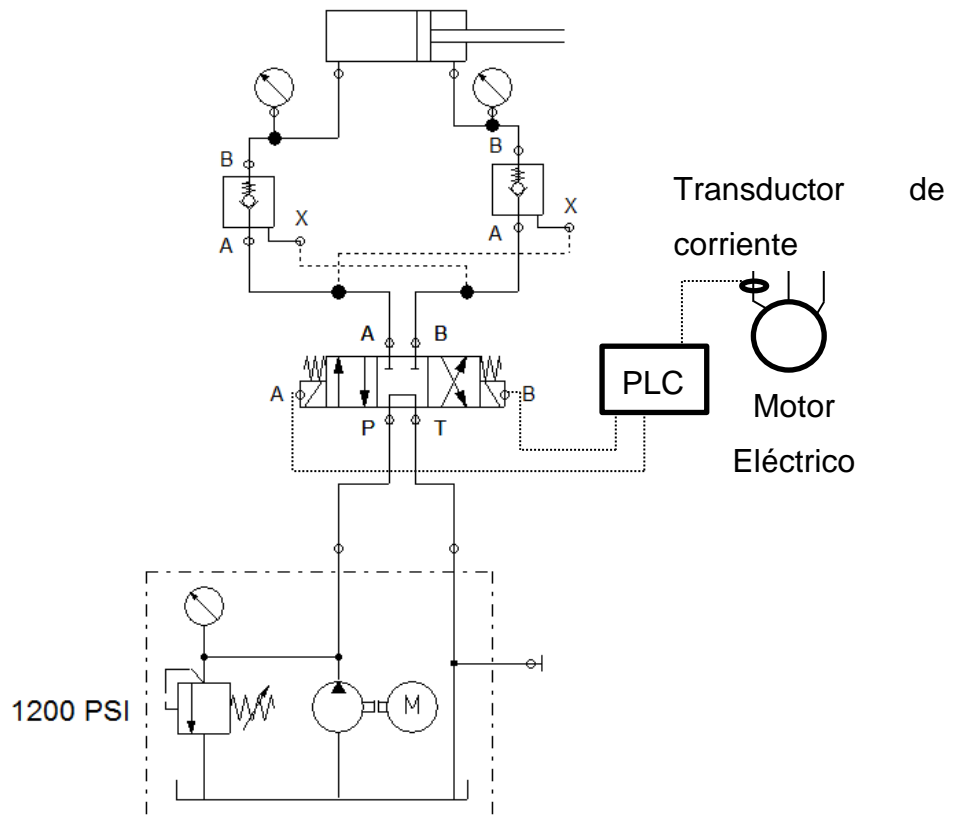


**Fuente:** Autor.

### 6.9.1.2 Operación automática

El control automático de la prensa se hace mediante el monitoreo de la potencia consumida por el motor en el proceso mediante un transductor de corriente (la presión de prensado no se puede medir directamente dentro de la canasta de prensado) que envía el valor de la corriente consumida por el motor trifásico a un PLC donde se compara el valor medido de corriente y el valor fijado para la corriente de operación y corrija el error enviando una señal a la válvula direccional proporcional para que se extiendan o se recojan los conos de contrapresión. Un aumento o disminución de la corriente en el motor representa un aumento o disminución de la presión dentro de la canasta de prensado.

**Figura 92.** Circuito hidráulico con control



**Fuente:** Autor.

Este tipo de circuitos hidráulicos ya están disponibles en unidades de potencia compactas suministrados por fabricantes como Rexroth o Vickers. El diseño del lazo de control para la operación automática de la prensa, no está dentro de los alcances del proyecto, ya que la parte de automatización y control de estos equipos va ligada a la automatización de toda la planta extractora de aceite.

## 7. SELECCIÓN DE ELEMENTOS MECANICOS

### 7.1 SELECCIÓN DEL MOTOR

El proceso de extracción de aceite por presado continuo requiere de una alto torque, para generar un torque tan alto se necesita una fuente de energía mecánica que suministre la potencia necesaria para mover todos los elementos de la máquina y extraer el aceite prensado el fruto de palma por medio de los sinfines que empujan el fruto de palma contra la canasta de presado, las grandes fuerzas de rozamiento que se generan dentro de la canasta de presado requieren también de mucha potencia para vencerlas y realizar el proceso de extracción

De acuerdo con los catálogos de fabricantes de estos equipos se observó que la mayoría utilizan un motor de 40 hp de potencia. Con esta información se selección un motor trifásico de la marca WEG que mejor se acomodara a las necesidades del proceso.

**Figura 93.**Motor trifásico WEG



**Fuente:** Catalogo motores WEG.

El motor seleccionado fue un motor de inducción trifásico de eficiencia estándar de la serie W22 de 40 hp de potencia, 1800 rpm, tensión nominal de 440 voltios a 60

Hertz que permite un buen ahorro de energía, fácil mantenimiento, poco ruido y poca vibración. A continuación se muestran las características técnicas del motor seleccionado.

**Tabla 29.** Características técnicas motor trifásico WEG

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado IV In	Par con rotor trabado TI/Tn	Par máximo Tb/Tn	Momento de inercia J (kgm <sup>2</sup> )	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	440 V						Corriente nominal In (A)	
								Caliente	Frio			% de la potencia nominal			RPM				
												Rendimiento		Factor de potencia					
KW	HP											50	75	100	50	75	100		
IV Polos - 1800 rpm - 60 Hz																			
Carcasa opcionales																			
0,12	0,16	71	0,674	4,5	2,2	2,6	0,00038	42	92	5,5	47	1700	48,0	56,0	60,0	0,44	0,54	0,63	0,415
0,18	0,25	71	1,01	4,5	2,3	2,6	0,00044	26	57	6,0	47	1700	50,0	58,0	61,0	0,43	0,54	0,63	0,615
0,25	0,33	71	1,42	4,4	2,2	2,4	0,00044	22	48	6,0	47	1680	54,0	61,0	63,0	0,46	0,58	0,68	0,770
0,37	0,5	80	2,04	6,0	2,1	2,8	0,0017	14	31	9,0	48	1730	60,0	67,0	71,0	0,50	0,63	0,72	0,950
0,55	0,75	80	3,04	6,2	2,4	2,8	0,0020	12	26	10,0	48	1730	66,0	72,0	73,0	0,52	0,65	0,75	1,32
0,75	1	90S	4,14	6,7	2,4	2,7	0,0033	17	37	16,0	51	1730	76,0	78,5	78,5	0,60	0,71	0,79	1,59
1,1	1,5	90S	6,08	6,7	2,4	2,7	0,0038	11	24	17,0	51	1730	77,5	79,5	79,5	0,58	0,71	0,79	2,30
1,5	2	90L	8,28	6,4	2,5	2,8	0,0049	10	22	18,5	51	1730	80,5	81,5	82,0	0,59	0,71	0,79	3,04
2,2	3	100L	12,2	6,1	2,3	2,6	0,0067	13	29	27,0	54	1720	82,0	83,0	83,1	0,61	0,73	0,80	4,34
3	4	112M	16,4	6,6	2,0	2,7	0,0117	17	37	39,0	58	1750	83,5	85,0	84,5	0,62	0,74	0,80	5,79
3,7	5	112M	20,3	6,5	2,0	2,7	0,0130	17	37	40,0	58	1745	84,5	86,0	85,5	0,63	0,75	0,81	7,01
4,5	6	132S	24,5	7,4	2,1	2,8	0,0301	13	29	58,0	61	1755	84,0	86,0	86,5	0,63	0,76	0,82	8,31
5,5	7,5	132S	29,9	7,4	2,1	2,9	0,0339	9	20	60,0	61	1760	84,0	86,5	87,0	0,63	0,75	0,82	10,1
7,5	10	132M	40,8	7,2	2,1	2,8	0,0413	8	18	63,0	61	1755	86,5	88,0	87,5	0,67	0,78	0,83	13,6
9,2	12,5	132S	50,1	7,5	2,2	2,9	0,0488	7	15	70,0	61	1755	87,5	88,5	88,0	0,67	0,79	0,83	16,5
9,2	12,5	160M	49,9	5,8	1,9	2,3	0,0652	11	24	86,0	64	1760	86,5	87,9	87,9	0,68	0,79	0,83	16,5
11	15	160M	59,5	6,0	2,0	2,5	0,0652	10	22	93,0	64	1765	87,5	88,6	88,6	0,67	0,78	0,83	19,6
15	20	160L	81,2	6,2	2,1	2,6	0,0954	9	20	105	64	1765	89,0	90,2	90,2	0,68	0,79	0,84	26,0
18,5	25	180M	100	6,1	2,2	2,6	0,1615	13	29	145	64	1760	89,3	90,5	91,0	0,68	0,78	0,83	32,1
22	30	180L	119	6,0	2,2	2,5	0,1615	12	26	150	64	1760	89,6	91,0	91,1	0,68	0,79	0,84	37,7
30	40	200L	162	6,0	2,0	2,4	0,2758	12	26	195	68	1770	91,0	91,8	91,8	0,71	0,80	0,85	50,4
37	50	225S/M	199	6,8	2,1	2,6	0,5249	10	22	347	70	1775	91,7	92,4	92,5	0,75	0,83	0,87	60,3

**Fuente:** Catalogo motores WEG.

## 7.2 SELECCIÓN DEL REDUCTOR

El motor eléctrico por sí solo no tiene la capacidad de suministrar el torque necesario para llevar a cabo el proceso por eso es necesaria dos etapas de transmisión para elevar el torque y disminuir velocidad de rotación de los ejes para accionar los sinfines de prensado. Como se definió la relación de transmisión del reductor de velocidad se fijó en 70 y el torque necesario para el proceso de prensado es de  $7277 N \cdot m$  en cada tornillo luego el torque necesario para el proceso seria  $14.554 N \cdot m$  con esos datos ingresamos al catálogo de reductores industriales SEW para seleccionar el reductor.



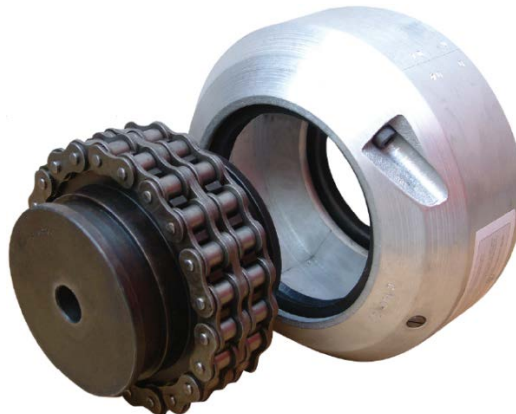
### 7.3 SELECCION DEL ACOPLE

Un elemento vital en el funcionamiento de la prensa es el acople entre el eje de salida del reductor y el eje conducido de la transmisión por engranajes que accionara los dos sinfines de prensado. Como se vio anteriormente la potencia y el torque a transmitir es muy elevado luego el acople que se seleccione debe ser capaz de soportar cargas tan grandes al mismo tiempo permitir des alineamiento paralelo entre los ejes y ser lo suficientemente flexible para dar cierto margen de des alineamiento angular que se produce en los sinfines cuando la prensa está en funcionamiento.

Para la sección del acople se tiene en cuenta la potencia a transmitir las revoluciones del eje y el torque a transmitir

$$T = \frac{P \cdot 63000}{n_{eje}} = \frac{40 \cdot 63000}{14} = 180.000 [Lb \cdot in] = 20335 [N \cdot m]$$

**Figura 95.** Acople flexible de cadena con carcasa.



**Fuente:** Catalogo acoples Intermecc s.a.

El acople seleccionado es un acople flexible de cadena. Los acoples flexibles de cadena son ideales para transmitir altos torques a bajas velocidades, además de

permitir des alineamiento paralelo y angular en los ejes de transmisión. El acople seleccionado soporta un torque nominal de  $38.100 N \cdot m$  que cumple ampliamente con nuestro requisitos de diseño y provee también una protección al sistema contra picos de carga que se puedan presentar en el proceso.

A continuación se muestran las características técnicas del acople flexible seleccionado.

**Tabla 31.** Características técnicas acoples flexibles de cadena intermec.

Referencia	Hueco máximo permisible mm	Dimensiones principales en milímetros • Fig. 1				Desalineamiento máximo permisible • Figs. 2 y 3		R.P.M. máximas sin carcaza	R.P.M. máximas con carcaza oleactuante
		A	Con carcaza c.c.	B	C	Paralelo A mm	Angular B Grados		
C35-18	31	63	73	56	43	0.20	1.5°	3600	4800
C40-18	41	84	95	70	59	0.27	2°	3375	4500
C50-16	44	95	121	85	63	0.30	2°	3150	4200
C60-18	62	127	154	106	86	0.35	2°	2250	3000
C60-22	82	151	178	133	113	0.35	2°	1950	2600
C80-18	85	168	197	133	114	0.40	2°	1650	2200
C80-22	95	202	225	133	137	0.40	2°	1425	1900
C100-20	114	232	257	187	160	0.65	2.5°	1275	1700
C120-20	130	275	320	224	184	0.80	3°	800	1200
C160-20	190	375	440	360	226	0.80	3°	600	1000

**Fuente:** Catalogo de acoples de cadena Intermecc s.a.

## 7.4 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Los rodamientos son los elementos encargados de soportar todas las cargas generadas por los elementos rodantes de la maquina como los ejes y las cargas debidas a fuerzas y momentos que se generan en la interacción de los elementos de transmisión de potencia como engranes o elementos que llevan a cabo el proceso de prensado como los tornillos sin fin.

En los capítulos anteriores se determinaron todas las cargas que deberían soportar estos elementos, en esta sección se determinaran el tipo de rodamiento

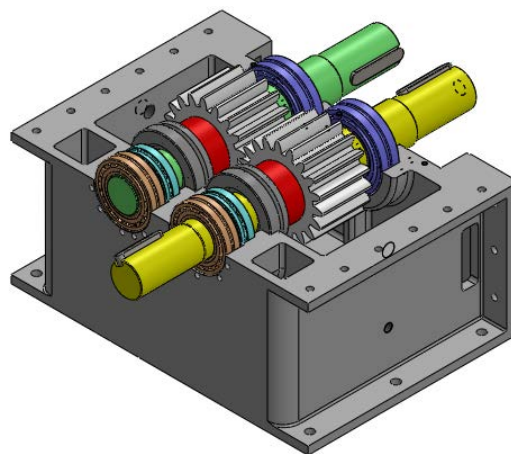
más adecuado para soportar dichas cargas así como determinar su tiempo de vida útil que es muy importante para las labores de mantenimiento de la máquina.

La selección de los rodamientos se hizo en base al catálogo de rodamientos de SKF pero debido a la estandarización de estos elementos se podrán utilizar cualquier referencia de rodamientos equivalentes de otros fabricantes.

Para la selección de los rodamientos primero se identificaron el tipo de cargas que se generan en el proceso de prensado debido a los elementos de la máquina.

- ♦ **Cargas radiales:** Las cargas radiales son debidas principalmente a la transmisión por engranajes rectos ya que el torque y la potencia son muy elevados, así como por las componentes radiales que actúan en el filete de los tornillos al momento del prensado. Para soportar estas cargas se seleccionaron dos rodamientos de axiales cilindros a rotula. Se selección este tipo de rodamiento debido al des alineamiento angular que se puede presentar cuando los sinfines están prensando el fruto de palma. La rotula permite tolerancias de este tipo de des alineamiento en los ejes, los que nos ahorraría problemas si se seleccionan rodamientos rígidos de bolas

**Figura 96.** Transmisión por engranajes rectos, rodamientos seleccionados



**Fuente:** Autor

- ✦ **Cargas axiales:** Las cargas axiales que se generan son debidas en primera medida al reductor de velocidad de engranajes helicoidales de ejes paralelos que por su naturaleza transmite una fuerza radial que de alguna manera deberá ser contrarrestada. La otra parte de la carga axial es generada por los sinfines al momento de presar el fruto de palma la presión sobre el filete de los tornillos generan fuerzas axiales que deberán ser soportadas por los rodamientos.

Para soportar estas cargas es necesario poner dos rodamientos de cilindros a rotula que soportan cargas axiales, radiales y permiten des alineamiento angular del eje. Uno pequeño que soporta las cargas axiales debidas al reductor y uno más grande que soporte las cargas axiales debidas a los fines de prensado. Estos dos rodamientos irán montados en contraposición pues las carga axial actúa en dos sentidos diferentes.

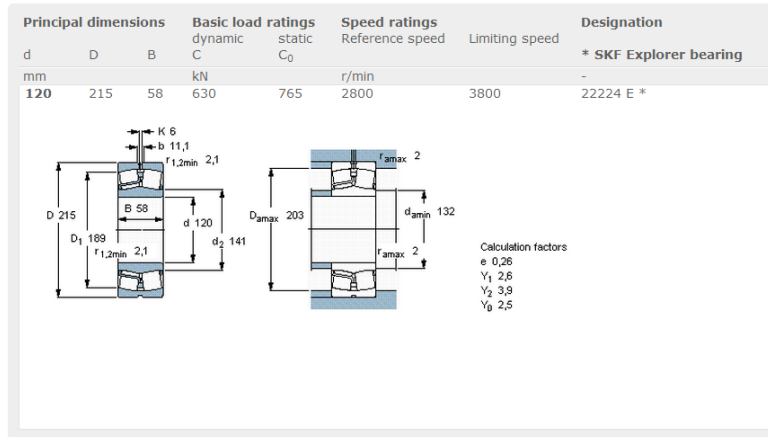
En total los ejes de transmisión llevaran cada uno dos rodamientos axiales de cilindros a rotula en los extremos para soportar cargas radiales y dos rodamientos de rodillos a rotula que soporten cargas radiales y a axiales en una sección intermedia, a continuación se seleccionarán los rodamientos según la carga a soportar y se calculara su tiempo su factor de seguridad.

**Figura 97.**Rodamiento de cilindros a rotula



**Fuente:** Catalogo on-line SKF.

**Figura 98.** Características técnicas rodamiento de cilindros a rotula seleccionado.



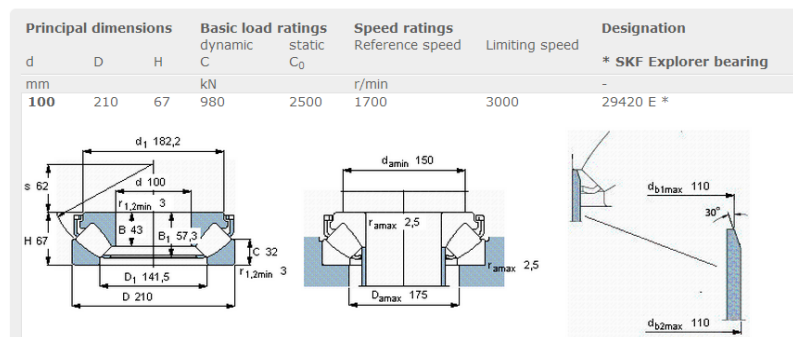
Fuente: Catalogo on-line SKF.

**Figura 99.** Rodamiento axial de rodillos a rotula



Fuente: Catalogo on-line SKF.

**Figura 100.** Características técnicas Rodamiento axial de rodillos a rotula seleccionado.



Fuente: Catalogo on-line SKF.

Para validar la selección de los rodamientos se verifica el factor de seguridad calculando la carga dinámica equivalente y dividiendo la capacidad del rodamiento entre este valor.

- ♦ **Rodamientos de rodillos a rotula:** Para este tipo de rodamiento la carga dinámica equivalente se calcula de la siguiente forma.

$$P_r = F_r + Y_1 F_a \quad (42)$$

**Tabla 32.** Factor de seguridad rodamientos seleccionados

<i>Selección</i>	<i>F<sub>radial</sub></i> [kN]	<i>F<sub>axial</sub></i> [kN]	<i>Y<sub>1</sub></i>	<i>Y<sub>2</sub></i>	<i>e<sub>cal</sub></i>	<i>e</i>	<i>P<sub>r</sub></i> [kN]	<i>C<sub>r</sub></i> [kN]	<i>N</i>
22224 E	44.87	0	2.6	3.9	0	0.26	44.87	630	14
22220 E	44.87	0	2.8	4.2	0	0.24	44.87	425	9

**Fuente:** Autor.

Donde,

- $P_r$  es la carga dinámica equivalente.
- $C_r$  es la capacidad del rodamiento.
- $F_r$  es la fuerza radial aplicada.
- $F_a$  es la fuerza axial aplicada
- $Y_1, Y_2$  es el factor de carga radial en el rodamiento.
- $e = \frac{F_a}{F_r}$  es el factor de cálculo.
- $N = \frac{C_r}{P_r}$  es el factor de seguridad

- ♣ **Rodamientos de axiales de rodillos a rotula:** Para este tipo de rodamiento la carga dinámica equivalente se calcula de la siguiente forma.

$$P_r = 0.88(F_a + 1.2F_r) \quad (43)$$

**Tabla 33.** Factor de seguridad rodamientos seleccionados

<i>Selección</i>	<i>F<sub>radial</sub></i> [kN]	<i>F<sub>axial</sub></i> [kN]	<i>P<sub>r</sub></i> [kN]	<i>C<sub>r</sub></i> [kN]	<i>N</i>
29420 E	44.87	75.6	113.9	980	8.60
29320 E	44.87	35.6	77	465	6

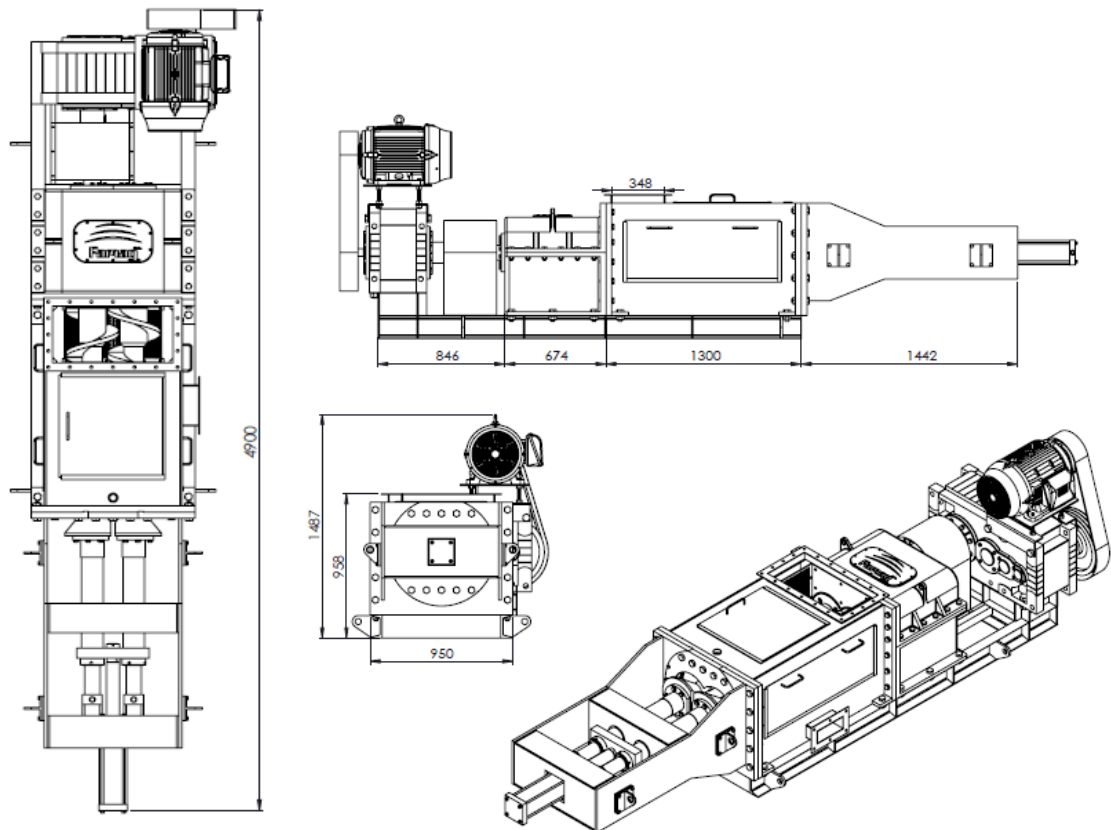
**Fuente:** Autor.

Con los resultados obtenidos se puede asegurar que los rodamientos seleccionados cumplirán con las exigencias requeridas para el proceso y soportaran adecuadamente las cargas a las que serán sometidos. Sin embargo se recomienda la revisión continua del estado de los rodamientos para prolongar su vida útil y disminuir los costos de mantenimiento del equipo.

## 8. DISEÑO DEFINITIVO

Una vez se diseñaron todos los componentes de la prensa y se seleccionaron todos los elementos comerciales, se procedió al ensamble y montaje de la prensa a continuación se muestra el ensamblaje final y las dimensiones generales de la prensa.

**Figura 101.** Dimensiones generales del diseño terminado



**Fuente:** Autor.

En la figura se pueden observar todos los elementos de la prensa, las guardas de seguridad y como se vería la prensa una vez fabricada. A continuación se muestra la tabla de especificaciones técnicas del equipo.

**Tabla 34.** Características técnicas prensa de extracción de aceite crudo de palma.

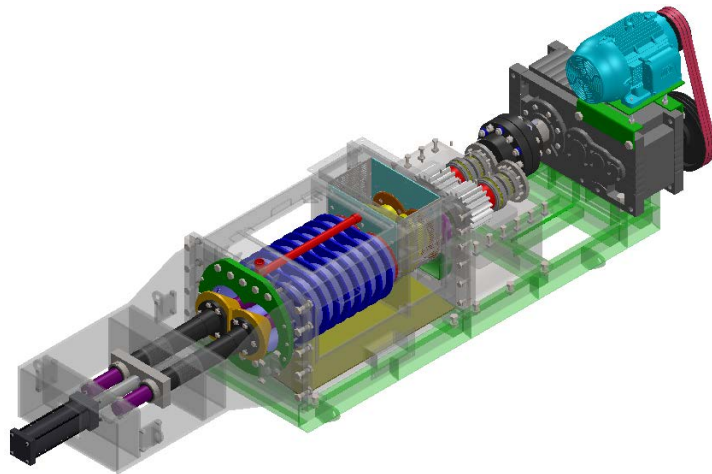
<b>Función</b>	Extracción de aceite de palma mediante prensado de la masa de frutos provenientes del digestor
<b>Producto a tratar</b>	Masa de frutos procedente del digestor
<b>Temperatura entrada del producto</b>	Aproximadamente 95 C
<b>Temperatura agua del proceso</b>	Aproximadamente 80 C
<b>Presión estática agua del proceso</b>	14 mca
<b>Capacidad</b>	14 – 16 Toneladas de RFF (Racimos de fruta Fresca) por hora, 32 – 40 Amperios
<b>Motor</b>	Eléctrico trifásico
<b>Potencia del motor</b>	40 HP. (30 kW.)
<b>R.P.M del motor</b>	1800 rpm
<b>Transmisión</b>	Correas trapezoidales
<b>Tornillo sin fin</b>	305 mm de Diámetro x 1068 mm de Largo. Paso de sección de alimentación 270 mm. Paso de sección de extracción 187 mm. Diámetro del eje 115 mm
<b>Accionamiento de los sinfines</b>	Reductor de ejes paralelos SEW
<b>Velocidad del tornillo</b>	14 RPM
<b>% perdida de aceite</b>	Pérdida de aceite en la fibra < 7% / SSNA (Sólidos Secos No Aceitosos)
<b>% de nueces rotas</b>	Menos del 7 % en la muestra o 12 % del total de nueces
<b>Accionamiento de los conos</b>	Por mando eléctrico a través de un sistema hidráulico
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>	
<b>Presión de servicio</b>	70 [bares] =1000[psi]
<b>Ajuste válvula de seguridad</b>	85 bares=1200[psi]
<b>Accionamiento</b>	Mando eléctrico desde la caja de mando.
<b>Disponibilidad de energía</b>	Tensión de la red 3 fases 220/440v.

**Fuente:** Autor.

## 8.1 INTEGRACION DE COMPONENTES

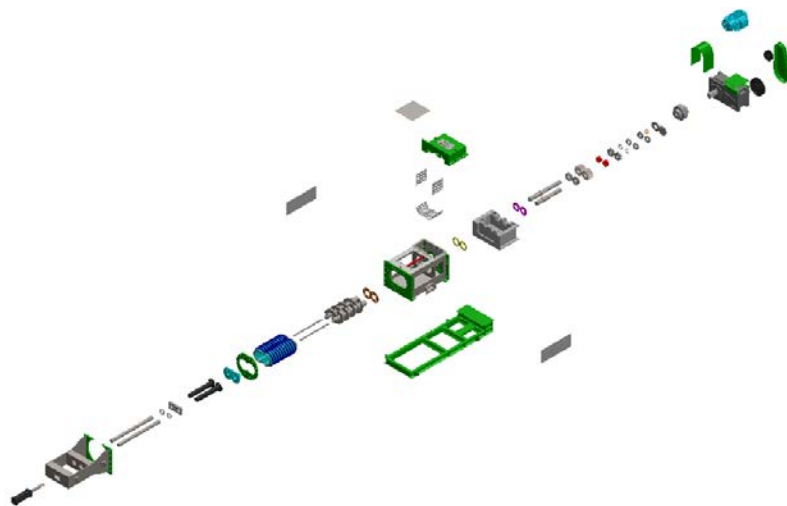
La integración de componentes se muestra en las siguientes figuras, en ella se ve la ubicación de cada uno de los subsistemas de la máquina y los elementos principales de la prensa.

**Figura 102.** Integración de componentes de la prensa



**Fuente:** Autor.

**Figura 103.** Vista explosionada prensa extracción de aceite



**Fuente:** Autor.

## **8.2 RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN**

1. Se debe Asegurar que el sistema eléctrico está en orden y que las protecciones están trabajando correctamente.
2. Se deben Hacer revisiones regulares para asegurar que las protecciones eléctricas trabajen apropiadamente y están correctamente colocadas.
3. Se debe garantizar que el fruto de palma entre a la prensa a una temperatura de 95 a 100°C.
4. Para arrancar la prensa, se enciende el motor, y se abra total mente el ducto de alimentación del digestor. Los conos de contrapresión deben controlarse manualmente, hasta que la torta prensada tenga una condición satisfactoria.
5. Los conos de contrapresión deben ser cerrados lentamente para obtener el balance requerido de fibra seca sin un gran contenido de almendra o de nuez rota para garantizar un rendimiento óptimo de la extracción.
6. Es necesario tener un suministro de agua caliente (alrededor de 95°C) en la tubería de alimentación de agua. El agua pasa sobre la parte exterior de la canasta llevando con ella el aceite crudo el proceso de clarificación.
7. Se debe hacer un monitoreo constante del proceso de extracción, revisando el nivel del digestor y la adecuada alimentación de la prensa
8. La prensa debe quedar vacía cuando el proceso de extracción haya terminado.

### 8.3 RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO

- ◆ Una vez por semana se debe limpiar la carcasa de los motores para asegurar un enfriamiento apropiado.
- ◆ Se deben mantener las correas y poleas libres de suciedad y asegurarse que la tensión sea la adecuada en las correas.
- ◆ Diariamente se aconseja verificar el nivel del aceite lubricante de los engranajes rectos, debe estar mínimo a la mitad de los engranajes.
- ◆ Cuando la prensa se encuentre detenida se debe hacer una inspección periódica del desgaste en los dientes de los engranajes y los ejes de la transición.
- ◆ Se recomienda estar atento a cualquier cambio en el ruido de la prensa, este se puede deber a desgaste en los rodamientos de la transmisión.
- ◆ La canasta de prensado está sujeta a desgaste debido al roce con el fruto, es importante verificar que el espesor de la canasta se mantenga dentro del mínimo recomendado para no afectar el rendimiento de la extracción.
- ◆ Los tornillos de prensado también se desgastan por la fricción con el fruto de palma, se recomienda reconstruirlos con soldadura para devolverles sus dimensiones originales.
- ◆ Se recomienda tener repuestos disponibles para la canasta y el juego de tornillos de prensado.

## 9. ANALISIS DE COSTOS

En la siguiente tabla se presenta la inversión que se realizó para el diseño y la inversión que se tendría que realizar para producir el equipo.

**Tabla 35.** Costos de inversión

<b>Fase de diseño</b>	
<b>ítem</b>	<b>Monto estimado</b>
Producción intelectual	\$ 2.500.000
Bibliografía(libros, Manuales técnicos, Internet)	\$ 200.000
Transporte	\$ 200.000
Asesoría Profesional	\$ 500.000
Asesoría para Manufactura	\$ 500.000
Papelería (Memorias, cartas fotocopias, impresiones etc.)	\$ 100.000
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 4.000.000</b>
<b>Fase de producción</b>	
<b>ítem</b>	<b>Monto estimado</b>
Materiales y elementos seleccionados	\$ 81.891.369
Proceso de fabricación	\$ 4.000.000
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 85.891.369</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 89.891.396</b>

**Fuente:** Autor

La idea del diseño de la prensa de extracción de aceite de palma, era ver la viabilidad de su construcción para competir en el mercado local con los equipos de características similares importados de otros países.

Para ver si era viable la construcción de la maquina primero se determinó el valor de venta y los costó de importación de un equipo similar. El equipo que se selección para para hacer la comparación es una maquina producida en china. A continuación se muestra las características técnicas del equipo con que se hizo la comparación.

**Figura 104.** Características técnicas prensa de extracción de aceite importada

**Twin-screw palm fruit oil press/Large palm fruit oil expeller/Oil mill**



**Product Details:**

Condition	New
Usage	Palm Oil
Type	Cold & Hot Pressing Machine
Automatic Grade	Semi-Automatic
Production Capacity	5-15t/h
Place of Origin	Henan, China (Mainland)
Brand Name	HYPH
Model Number	YZYZ-5
Voltage	380V
Power(W)	50HZ
After-sales Service Provided	Engineers available to service machinery overseas

**Payment & Shipping Terms:**

FOB Price:	<a href="#">Get Latest Price</a>
Minimum Order Quantity:	1 Set/Sets
Port:	shanghai,qingdao,tianjin
Packaging Details:	nude pack or wooden case
Delivery Time:	45days after receiving the advance payment from buyer
Payment Terms:	L/C,T/T,Western Union
Supply Ability:	100 Set/Sets per Month

**Fuente:** <http://dbph.en.alibaba.com>

A continuación se muestran los costos de compra, transporte, e importación del equipo seleccionado para la comparación.

**Tabla 36** .Costos de un equipo importado

<b>PESO</b>	5 TONELADAS
<b>SUPERFICIE</b>	20 PIES
<b>LIQUIDACIÓN GRAVAMENES</b>	
VALOR FOB USD	43.000
VALOR FLETES USD	2.830
VALOR SEGUROS USD	43
VALOR OTROS GASTOS USD	200
<b>VALOR AUDUANA USD</b>	<b>46.073</b>
<b>ARANCELES</b>	
TASA DE CAMBIO	1.892
BASE ARANCEL	87.154.912
TARIFA ARANCELARIA	15%
<b>TOTAL ARANCEL</b>	<b>13.073.237</b>
<b>BASE IVA</b>	<b>100.228.149</b>
<b>TARIFA IVA</b>	16%
<b>TOTAL IVA</b>	<b>16.036.504</b>
<b>TOTAL A PAGAR</b>	<b>116.264.652</b>

**Fuente:** Autor.

Como se puede observar la diferencia entre el costo de producción del equipo diseñado (sin IVA) y el costo del equipo importado (sin IVA) es de \$ 10.336.603. Que representa un 11.5 % de utilidad para la empresa. Aunque estos costos no son fijos pues dependen de variables externas como por ejemplo el precio del dólar, ya que algunos de los componentes seleccionados para el diseño también son importados. Sin embargo, es claro que de construir la maquina se tendría cierto margen de utilidad que sería rentable para la empresa. Además los posibles compradores podrán tener tiempos de entrega más cortos y contar con asesoría técnica personalizada para la selección del equipo en base a sus necesidades que sería un beneficio adicional del equipo diseñado.

## CONCLUSIONES

- ◆ El presente proyecto contribuyó al fortalecimiento de la colaboración entre la Universidad industrial de Santander y la industria local y regional cumpliendo con la misión institucional de generar conocimiento en beneficio del desarrollo del país.
- ◆ Se diseñó una prensa para la extracción de aceite crudo de palma de 15 Ton RRF/ h de capacidad y de consumo de potencia de 40 hp, además de cumplir con todas las restricciones de peso y dimensiones establecidas para el diseño utilizando software CAD/CAE con los que se modelaron, analizaron y se validaron cada uno de los elementos mecánicos de la máquina.
- ◆ A partir de los análisis CAE se puede asegurar que los elementos mecánicos diseñados cumplirán con las condiciones de trabajo a las que serán sometidos cuando entren en funcionamiento.
- ◆ Los Software de diseño asistido por computador, son una herramienta valiosa para el diseño de máquinas y equipos mecánicos ya que permiten minimizar los tiempos de diseño, disminuir los costos de manufactura, aumentar la confiabilidad y seguridad de los diseños y hacen más fácil y eficiente el proceso de diseño de un producto.
- ◆ Se diseñó un sistema hidráulico para accionar los conos de ajuste o la placa de contrapresión de manera segura y eficiente. La presión de operación del circuito hidráulico es de 70 bares y la presión de taraje de la válvula de seguridad es de 85 bares. El caudal que maneja la bomba de paletas es de 12 l/min y consume una potencia de 2.5 hp.

- ◆ Se analizó viabilidad económica de la construcción de la maquina diseñada. El costo de producción de la maquina ascendió \$ 89.891.397 pesos y si el precio de venta del equipo fuera igual al precio de venta del equipo importado con el que se comparó, es decir \$ 100.228.000 pesos. La rentabilidad estimada para la empresa por la venta del equipo sería del 11.5 % .Quedaría en manos de la empresa tomar la decisión de construir o no el equipo diseñado en base a los costos de producción y la rentabilidad obtenida por la venta del mismo.
- ◆ El equipo diseñado puede servir de base para para el diseño de equipos de mayor y menor capacidad. Ya que las condiciones de proceso de prensado son las mismas sin importar la cantidad de fruto que se procese. Esto posibilita el diseño de toda una línea de modelos que se podrían ofrecer a los clientes según la capacidad de extracción que quieran instalar.
- ◆ Puede que la construcción completa de la prensa no se lleve a cabo en el mediano o largo plazo. Pero el diseño realizado ofrece la oportunidad a la empresa de proveer repuestos para estos equipos en base al trabajo realizado, ya que muchas de estas máquinas tienen elementos geoméricamente similares que se podrían adaptar a los diseños elaborados.
- ◆ Aunque los beneficios económicos no sean del todo los deseados, queda claro que apostar al desarrollo de equipos nuevos para el portafolio de bienes ofrecidos por las pequeñas y medianas empresas es una oportunidad de generar conocimientos que abren otras posibilidades de ofrecer servicios tales como mantenimiento y consultoría para este tipo de maquinaria.

- ✦ El diseño de cualquier sistema mecánico requiere de una continua retroalimentación en cada fase del diseño, con el fin de optimizar el diseño y ofrecer la solución más satisfactoria para el cliente, para ello existen herramientas y software especializado que facilitan nuestra labor como ingenieros, pero es importante que se haga un manejo adecuado de estas herramientas en base a los conceptos teóricos y nuestro criterio como ingenieros.

## RECOMENDACIONES

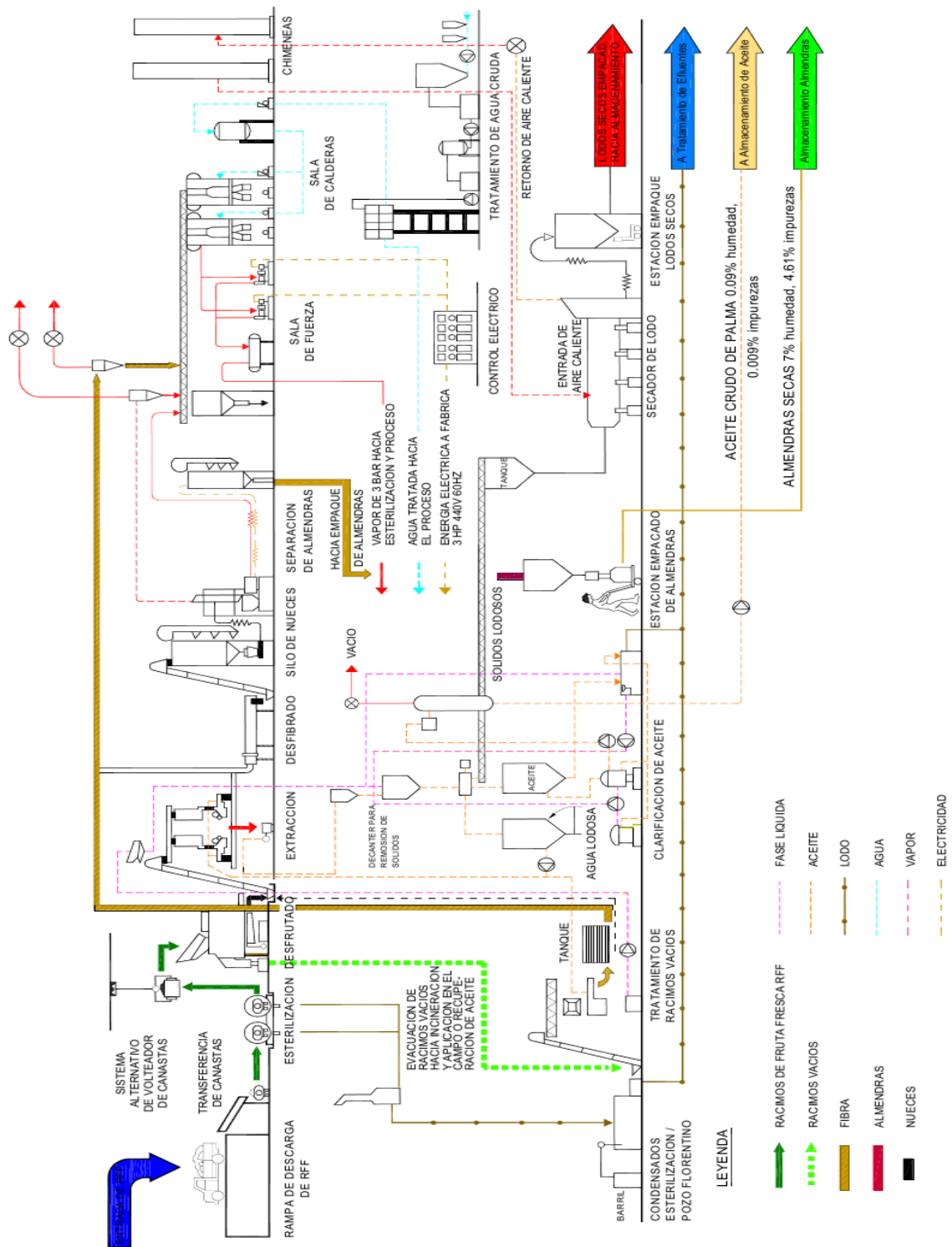
- ♦ La información concerniente al diseño y fabricación de equipos que intervienen en la agroindustria de la palma de aceite es muy escasa en Colombia y Latinoamérica, sería bueno que se realizara un esfuerzo por recolectar toda la información disponible, lo que permitiría tener una base para el desarrollo de equipos y procesos propios para el proceso de extracción y aprovechamiento del aceite de palma
- ♦ La selección de los elementos comerciales de la máquina se realizó en base a obtener la mejor calidad en cada uno de los componentes seleccionados, con lo que se recurrió a fabricantes reconocidos lo que encarece un poco el costo de producción del equipo. Queda a voluntad de la empresa realizar una nueva selección de componentes de la misma capacidad con otros fabricantes. Esto permitiría una reevaluación del costo de producción y quizás aumentaría la utilidad generada por la venta del equipo.
- ♦ Como se trataba del primer diseño de este tipo de máquinas en la empresa se recomienda hacia el futuro realizar una revisión y optimización de los diseños basados en datos de funcionamiento. Ya que algunos elementos podrían estar sobre diseñados para los requerimientos reales del proceso. Esto llevaría a una reducción del peso, diferentes materiales, selección de componentes comerciales que se verían reflejados en el costo de producción del equipo.
- ♦ Es importante que las empresas incentiven la realización de este tipo de proyectos, que acercan a los estudiantes de ingeniería a situaciones propias de su profesión y que facilitan la adaptación de los estudiantes al entorno industrial y laboral.

## BIBLIOGRAFIA

- ◆ **ATOS HIDRAULYCS.** Catálogo de válvulas direccionales. Disponible <[www.atos.com](http://www.atos.com).>
- ◆ **BOSCH REXROTH.** Catálogo de productos para hidráulica industrial. Disponible< [www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com)>
- ◆ **CARRO, Jorge, FLORES, Fabiola.** Análisis de esfuerzo de contacto en engranes rectos aplicando el criterio de Hertz con ingeniería asistida por computadora.Mexico:2012.
- ◆ **CASTAÑO, Andrés, MORENO, Hernán.** Libro de diseño de máquinas.Medellin:UPB.2004.pag.19-50.
- ◆ **CENIPALMA.** Manejo integrado de pérdidas de aceite y almendra
- ◆ **COMPAÑÍA GENERAL DE ACEROS.** Fichas técnicas de aceros Disponible <[www.cga.com.co](http://www.cga.com.co)>
- ◆ **EATON VICKERS.** Catálogo de productos para hidráulica industrial. Disponible< [www.eaton.com](http://www.eaton.com)>
- ◆ **FAJOBÉ.** Catálogo de láminas de acero. Disponible. <[www.fajobe.com.co](http://www.fajobe.com.co)>
- ◆ **FEDESARROLLO.** Elementos para modificar el fondo de estabilización de precios para el palmiste, el aceite de palma y sus fracciones.Bogota:.2011
- ◆ **PUTRA, Ady.** Failure analysis of the worm screw press if 10 ton capacity with tbs / hours. Sumatra: Universidad del Norte de Sumatra.2010.

- ◆ **MOTT, Robert.** Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson.2006.
- ◆ **NOVIAN, Ruben.** Corrective maintenance worm screw press sports with capacity 10 ton fruit palm / hours use failure analysis. Sumatra: Universidad del Norte de Sumatra.2010.
- ◆ **SEW.** Catálogo de reductores industriales.2005.  
Disponibile <[www.sew-eurodrive.com](http://www.sew-eurodrive.com)>
- ◆ **SHIGLEY, Joseph.** Diseño en ingeniería mecánica. México. Mc Graw Hill.8 edición.2011
- ◆ **SKF.** Catálogo de rodamientos.2006.Dispobible. <[www.skf.com](http://www.skf.com)>.
- ◆ **SKF.** Power transmission products.2006.Disponible. <[www.skf.com](http://www.skf.com)>.
- ◆ **WAMBECK, Noel.** Sinopsis de la palma de aceite. Bogotá: FEDEPALMA. 1999.
- ◆ **WEG.** Catálogo de motores eléctricos trifásicos.2011.Disponible <[www.weg.net/co](http://www.weg.net/co)>

# ANEXOS



Anexo A. Flujo proceso de una planta de extracción de aceite de palma

## Anexo B. Propiedades del acero SAE 4140

COMPOSICIÓN QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si %	Cr %	Mo %
Análisis típico en %	0.38	0.75			0.2	0.80	0.15
	0.43	1.0	0.035	0.04	0.35	1.10	0.25

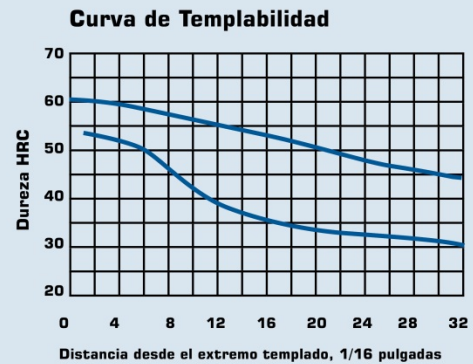
PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE					
Estado de Suministro	Resistencia a la Tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de Área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en Caliente	588 - 690	392	22	50	210 - 240
Calibrado	690 - 785	589	14	40	240 - 260
Bonificado	850 - 981	735	14	47	260 - 320

Nota: Estas propiedades mecánicas son tomadas sobre redondos de 25mm. Para mayores o menores dimensiones hay que considerar el efecto de masa.



### BANDA DE TEMPLABILIDAD

BANDA DE TEMPLABILIDAD PARA EL ACERO 4140							
Distancia desde el extremo templado		Dureza, HRC		Distancia desde el extremo templado		Dureza, HRC	
1/16 in	mm	Máx.	Min.	1/16 in	mm	Máx.	Min.
1	1.58	60	53	13	20.54	55	38
2	3.16	60	53	14	22.12	54	37
3	4.74	60	52	15	23.70	54	36
4	6.32	59	51	16	25.28	53	35
5	7.90	59	51	18	28.44	52	34
6	9.48	58	50	20	31.60	51	33
7	11.06	58	48	22	34.76	49	33
8	12.64	57	47	24	37.92	48	32
9	14.22	57	44	26	41.08	47	32
10	15.80	56	42	28	44.24	46	31
11	17.38	56	40	30	47.40	45	31
12	18.96	55	39	32	50.56	44	30



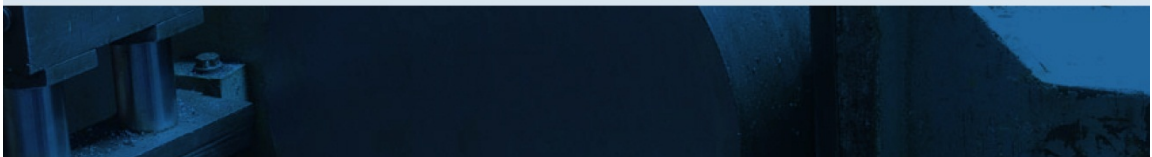
### TRATAMIENTOS TÉRMICOS

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1100	Ceniza - arena seca
Normalizado	850 - 870	Aire
Recocido globular	750	Horno
Recocido subcrítico	680 - 720	Horno
Temple	830 - 850	Aceite
Revenido	500 - 650	Aire

**Diámetro crítico:** Dimensiones máximas en las que se consigue un temple aceptable en el centro de la pieza:

70mm de diámetro con enfriamiento en agua

45mm de diámetro con enfriamiento en aceite



## Anexo C. Propiedades del acero SAE 4340

PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE					
Estado de Suministro	Resistencia a la tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en Caliente	620 - 750	441	20	50	210 - 240
Calibrado	750 - 850	635	10	30	240 - 260
Bonificado	860 - 1080	785	19	45	260 - 320

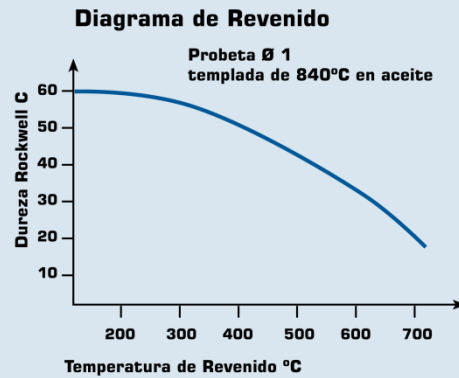
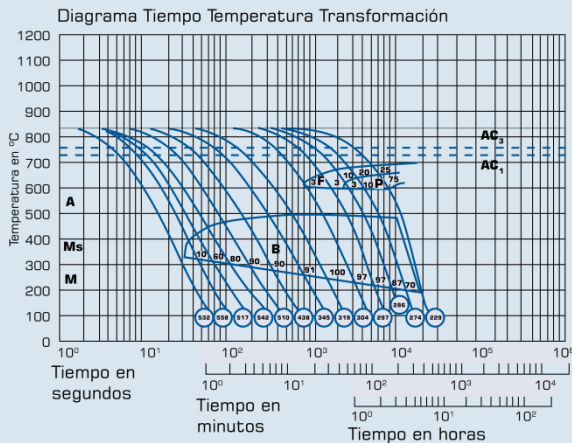
Nota: Estas propiedades mecánicas son tomadas sobre redondos de 25 mm. Para mayores o menores dimensiones hay que considerar el efecto de masa.

Dureza del material	ENSAYO CHARPY A BAJA TEMPERATURA, JOULES (ENTALLA EN "V")			
	Temperatura del ensayo			
	20°C	- 10°C	- 40°C	- 70°C
40 HRC	16.8	10	8.7	6.5
35 HRC	110.9	111.6	118.1	104.8
28 HRC	126.9	105.8	101.4	48.8

### TRATAMIENTOS TÉRMICOS

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850-1100	Ceniza O arena
Temple	820-860	Aceite
Normalizado	850-870	Aire
Recocido	690-720	Horno
Revenido	540-660	Aire

### DIAGRAMA TTT (TIEMPO-TEMPERATURA-TRANSFORMACIÓN)



### TEMPLABILIDAD DEL ACERO 4340

**Diámetro crítico:** Dimensiones máximas en las que se consigue un temple aceptable en el centro de la pieza (50% de martensita):

180 mm de diámetro con enfriamiento en aceite

35 mm de diámetro con enfriamiento en aire

## Anexo D. Reductor industrial seleccionado

SEW - EURODRIVE COLOMBIA LTDA. NIT.830.000.687-0  
 Urbanización Industrial Los Urapanes Calle 22 No. 132-60 Bodega 6 Manzana B  
 PBX: (091) 547 5050 - Fax: (091) 547 5044 - Bogotá D.C., Colombia  
[carlos.arana@sew-eurodrive.com.co](mailto:carlos.arana@sew-eurodrive.com.co)



Cotización **IG-1442**  
 Fecha: 5 de agosto de 2013

Para: **JULIAN CONTRERAS**



Asunto: Reductor para prensa

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	1	Reductor helicoidal de ejes paralelos, marca <b>SEW-Eurodrive</b> , modelo <b>MC3PLSF07</b> con eje solido, potencia de entrada de 30 kW, velocidad de entrada / salida de 1100 / 14,3 rpm, relación 77,12, y factor de servicio de 1,95. Torque Nominal de 37,2 kNm. Características según hoja de datos adjunta.	€ 11.200	€ 11.200

- NOTAS
- 1- Los precios son DDP en Euros liquidables en COP a la TRM del día de factura.
  - 2- Los precios no incluyen IVA, este se adicionará al facturar.
  - 4- Forma de pago: A convenir.
  - 5- Tiempo de entrega: 10 semanas
  - 6- Validez de la propuesta: 30 días
  - 7- Garantía: 12 meses a partir de la puesta en marcha o 18 meses a partir de la entrega, lo que ocurra primero
  - 8- Entrega: Instalaciones de JULIAN CONTRERAS

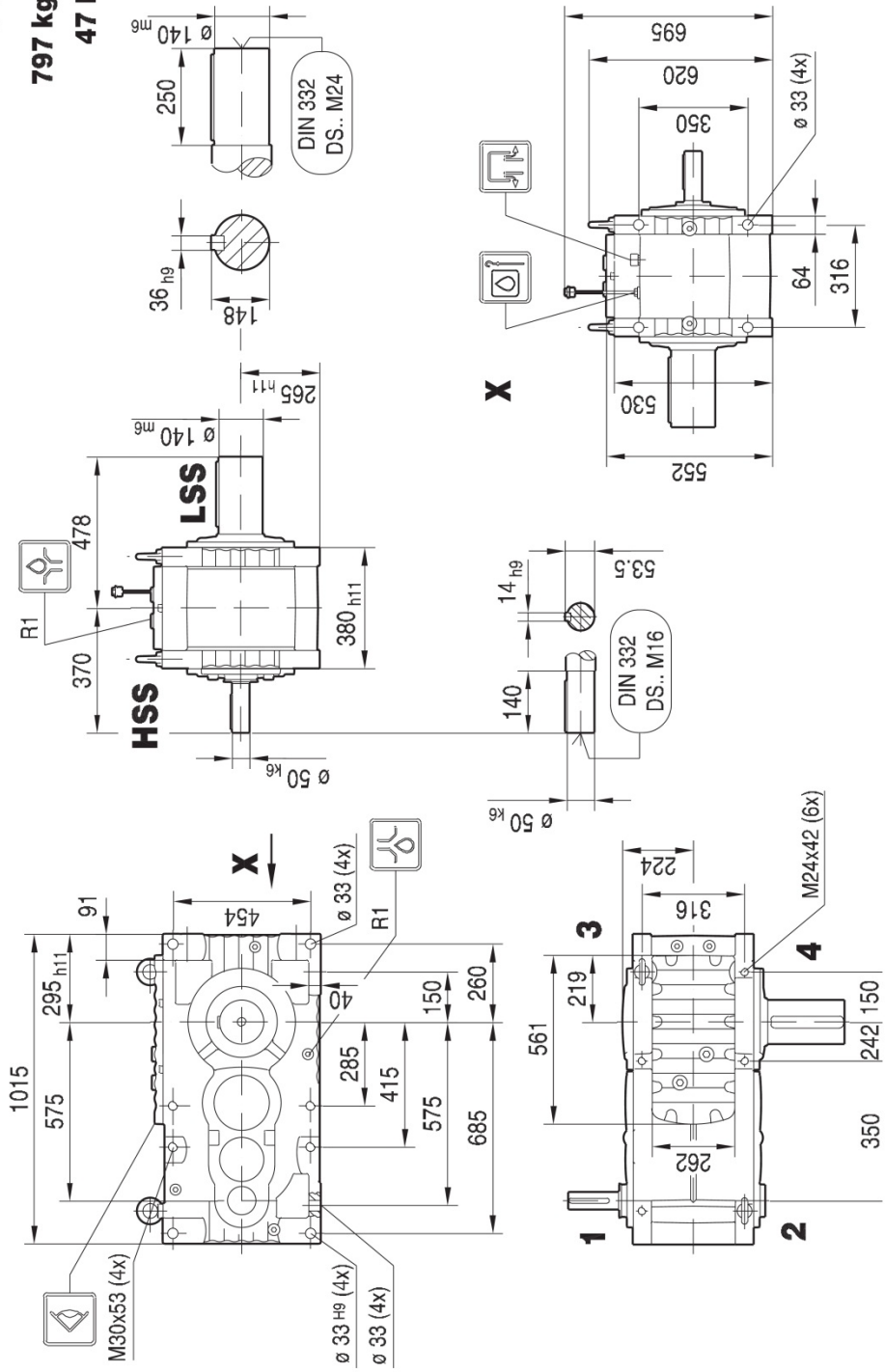
Carlos Humberto Arana  
 Ing. Especialista - Reductores Industriales

Alvaro Villabona Landazábal  
 Ingeniero de Ventas

47 046 00 03  
1(2)

797 kg  
47 l

**MC3PLSF07**



## Anexo E. Retorno de la inversión para el cliente

La recuperación de la inversión por parte de los productores de aceite palma que adquieran la maquina diseñada se describe a continuación.

Para determinar el tiempo de recuperación de la inversión se tienen en cuenta el flujo de caja de un planta extractora de aceite de palma de 45 Toneladas de frutos frescos (RRF) / hora de capacidad.

Para comenzar se determinó el precio de producción de una tonelada de aceite de aceite crudo de palma la siguiente tabla muestra el valor de producir dicha cantidad de aceite.

**Tabla 1.** Costos de producción de una tonelada de aceite de palma.

Descripción	Costos[\$]
Costo del fruto por tonelada de aceite	950.625
Costo de extracción por tonelada de aceite	118.125
Costo total por tonelada de aceite crudo de palma	1.068.750

**Fuente:** Autor.

Una planta extractora de 45 Ton RRF/hora debe contar con 3 prensas principales y 1 de reserva de la misma capacidad de 15 Ton RRF/hora y trabaja en un turno de 12 horas diarias siete días a la semana para un total de 4032 horas al año.

La planta extractora no trabaja a toda su capacidad su capacidad de procesamiento es en promedio de 54% de la capacidad instalada y se tiene un rendimiento de extracción de 22 %.

A continuación se muestran los costos anuales de producción de aceite de palma para una prensa de extracción de 15 Ton RRF/ hora.

**Tabla 1.** Costos de producción de una tonelada de aceite de palma.

Descripción	
Capacidad instalada de procesamiento	15 Ton RRF /hora
Capacidad real de procesamiento	8,1 Ton RRF / hora
Rendimiento de la extracción	0,22%
Total aceite extraído	1,782 Ton aceite /hora
Total de horas de operación	4032 horas
Total toneladas de aceite extraído al año	7,185 Ton Aceite
Costo del fruto por tonelada de aceite al año	\$ 6.830.240.625
Costo de extracción por tonelada de aceite al año	\$ 848.728.125
Costo total anual	\$ 7.678.968.750

**Fuente:** Autor.

El monto destinado al montaje y la infraestructura de una planta extractora de aceite de palma es aproximadamente el 46% por ciento del costo de la extracción luego se tendrían \$ 392.452.842 pesos disponibles para este fin.

Si el precio de venta de la maquina se fija en el mismo precio del equipo importado es decir \$ 97.615.469 pesos podríamos calcular el tiempo de retorno de la inversión como

$$TR = \frac{97.615.469}{392.452.842} = 0.248 \text{ años} = 3 \text{ meses}$$

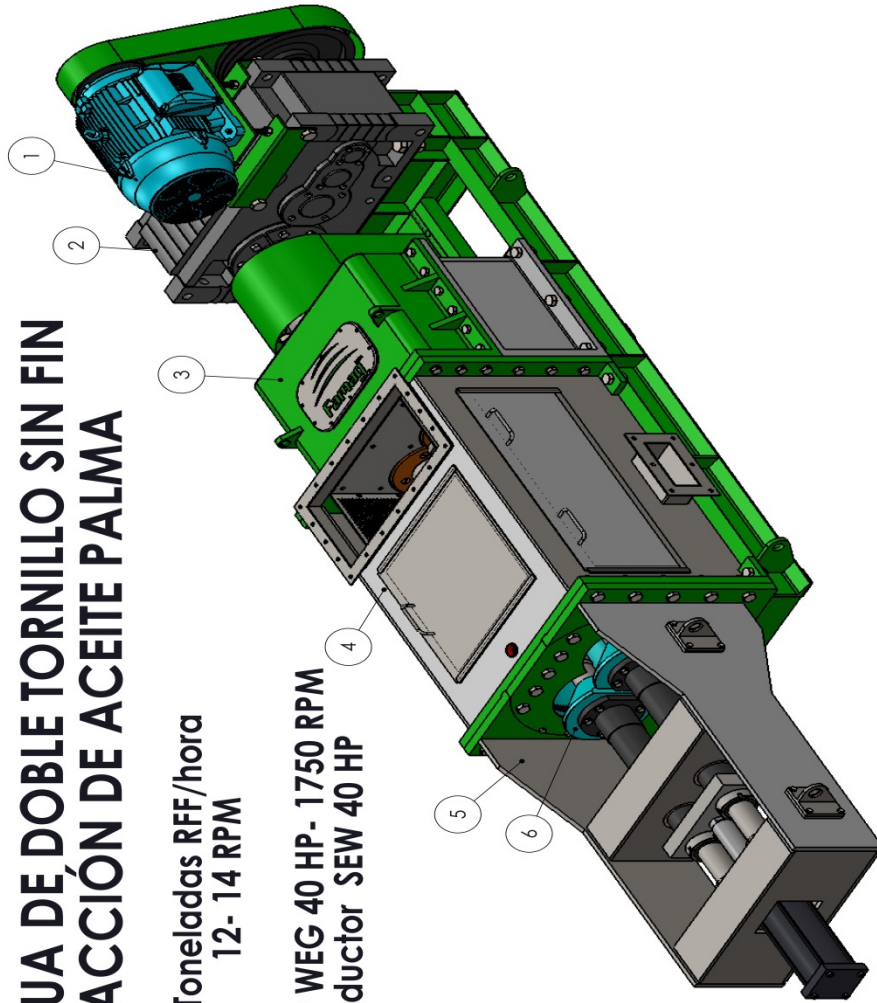
Como no se conoce como se distribuyen estos dineros este sería el tiempo mínimo de retorno de la inversión, ahora bien según el porcentaje que se destine a la compra de este equipo el tiempo de retorno cambiara considerablemente según el porcentaje que se le asigne para este fin.

## **Anexo F .Planos generales**

# PRENSA CONTINUA DE DOBLE TORNILLO SIN FIN PARA EXTRACCIÓN DE ACEITE PALMA

15 Toneladas RFF/hora  
12- 14 RPM

Motor WEG 40 HP- 1750 RPM  
Reductor SEW 40 HP



Pieza	Descripción
1	Motor WEG 40 HP
2	Reductor SEW 40 HP
3	Transmisión
4	Porta canasta
5	Porta hidráulico
6	Conos de ajuste



Universidad Industrial de Santander  
Escuela de Ingeniería mecánica

Proyecto:

DISEÑO DE UNA PRENSA CONTINUA TIPO EXPELER  
HIDRAULICO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE  
PALMA EN LA EMPRESA FAMAG LTDA.

Plano:

PRENSA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE FAMAG LTDA.

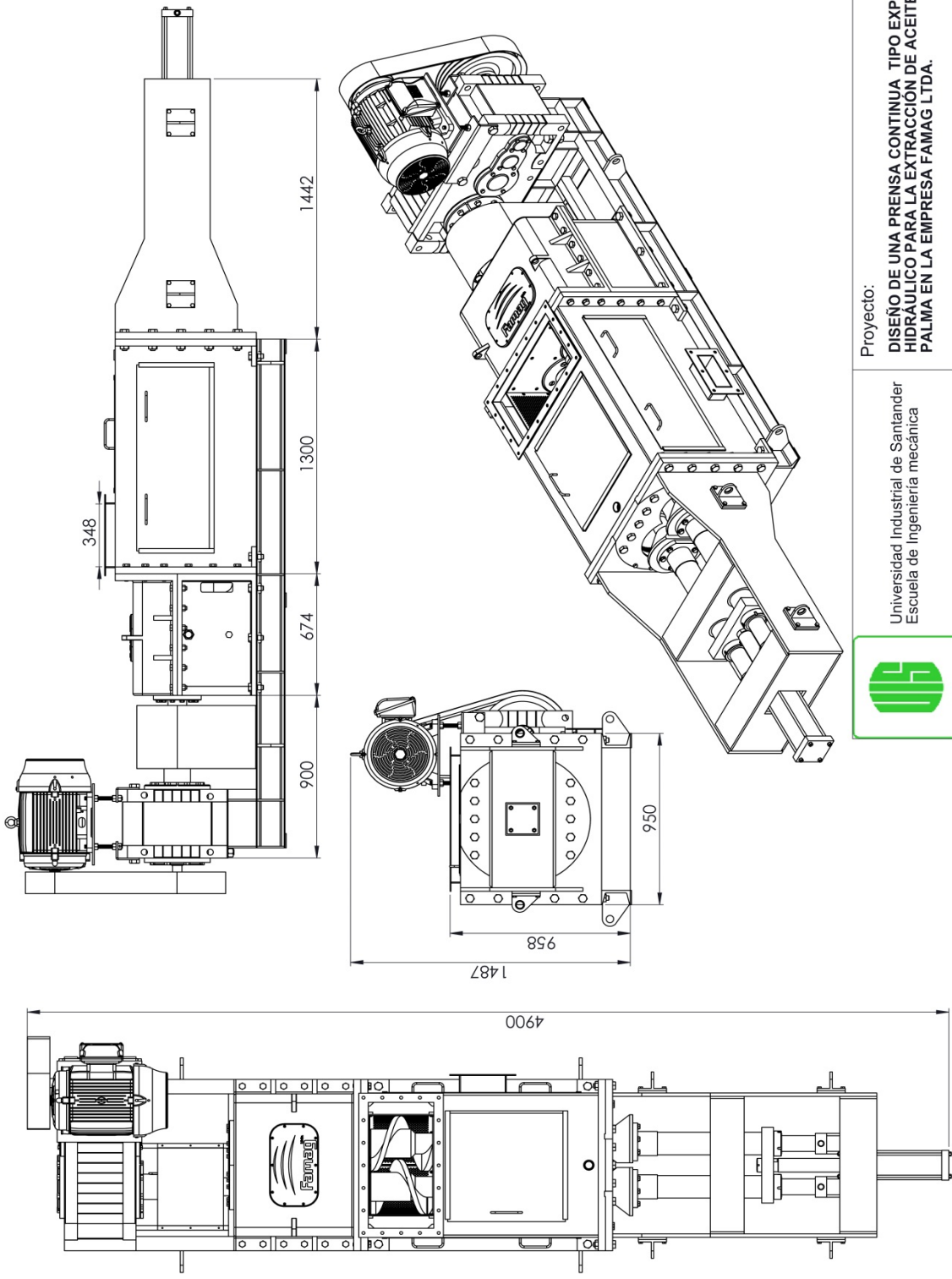
Dibujó: Julian Contreras

Aprobó: Carlos Borrás

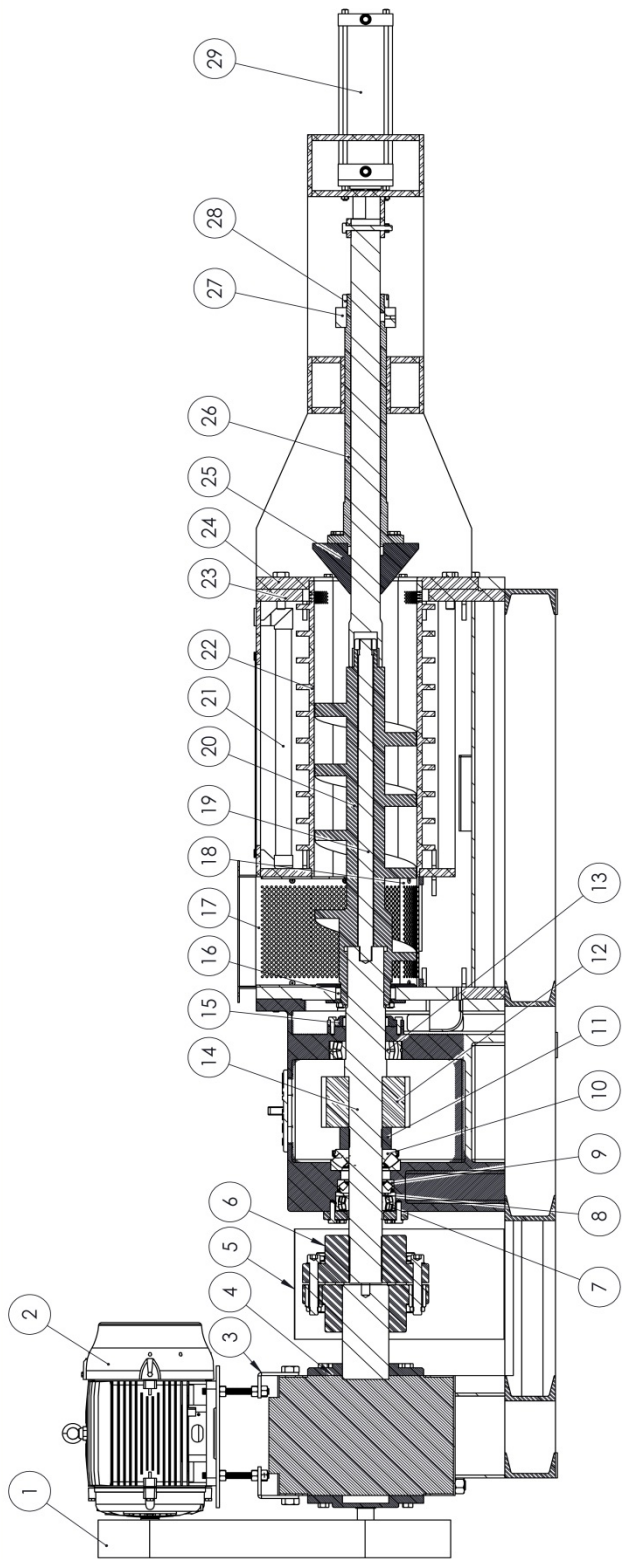
Fecha: 25-07-2013

No plano: 1

Escala 1:15



 <p>Universidad Industrial de Santander Escuela de Ingeniería mecánica</p>	Proyecto: <b>DISEÑO DE UNA PRESA CONTINUA TIPO EXPELER HIDRAULICO PARA LA EXTRACCION DE ACEITE DE PALMA EN LA EMPRESA FAMAG LTDA.</b>	
	Dibujo: Julian Contreras	Aprobó: Carlos Borrás
Plano: DIMENSIONES GENERALES		Fecha: 25-07-2013    No plano: 2    Escala 1:20



**PRESA CONTINUA DE DOBLE TORNILLO SIN FIN  
PARA EXTRACCIÓN DE ACEITE PALMA**  
15 Toneladas RFF/hora  
12 - 14 RPM

Numero	Descripcion
1	Guarda poleas
2	Motor WEG 40 HP
3	Soporte motor
4	Reductor de ejes paralelos SEW
5	Guarda acople
6	Acople flexible
7	Rodamiento SKF
8	Separador de rodamientos
9	Rodamiento SKF
10	Rodamiento SKF
11	Buje espaciador
12	Engranajes rectos
13	Rodamiento SKF
14	Eje largo P15
15	Plato porta retenedor
16	Platos pisa retenedores int y ext
17	Colador plano
18	Colador curvo
19	Tornillo de fijacion sin fin
20	Sin fin derecho
21	Tuberia de agua caliente
22	Canasta perforada P15
23	Bastidor Forja canasta
24	Bastidor Forja hidraulico
25	Conos de ajuste
26	Tubos guias
27	Soporte de las guias
28	Tuerca soporte de las guias
29	Cilindro hidraulico



Universidad Industrial de Santander  
Escuela de Ingeniería mecánica

Proyecto:

**DISEÑO DE UNA PRESA CONTINUA TIPO EXPELLER  
HIDRAULICO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE  
PALMA EN LA EMPRESA FAMAG LTDA.**

Plano: CORTE PRESA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE  
FAMAG LTDA.

Dibujó: Julian Contreras    Aprobó: Carlos Borrás

Fecha: 25-07-2013    No plano: 3    Escala 1:15