

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de sistema experimental para la extracción de aceite de
semillas Oleaginosas (semillas de piñón).”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Cristhian Gonzalo Valencia Escobar

Esteban Alejandro González Reyes

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la fuerza y perseverancia que me ha dado en los momentos difíciles. Así también a las personas que fueron claves para mi formación profesional. A mis pilares, mi esposa y mi hija. A mis padres, mis hermanos y abuelos por el apoyo brindado. Y a mis tutores que fueron parte del éxito y desarrollo de este proyecto.

Cristhian Gonzalo Valencia Escobar

Agradezco a mis tutores de tesis el PhD Juan Peralta y la PhD Emerita Delgado, quienes con su amplia experiencia y conocimientos han contribuido a la realización de esta tesis de grado; a mis padres que siempre me dieron apoyo; a mis hermanos que fueron mi ejemplo de perseverancia; y a Yamilia Tituana que siempre me motivo e incentivo a culminar mi carrera y alcanzar la meta.

Esteban Alejandro González Reyes

DECLARACIÓN EXPRESA


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

Cristhian Gonzalo Valencia Escobar

Esteban Alejandro González Reyes

PhD. Juan Peralta

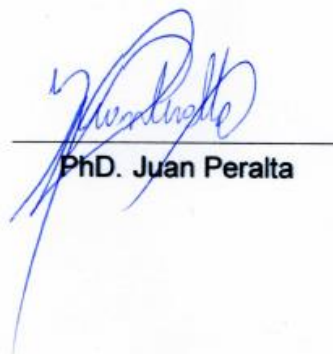
y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Cristhian Gonzalo
Valencia Escobar



Esteban Alejandro
Gonzalez Reyes



PhD. Juan Peralta

RESUMEN

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, institución pública encargada de realizar investigaciones en diferentes semillas. Está en un proceso de investigación en semillas oleaginosas, la cual dice que se puede producir biodiesel a partir del aceite extraído de la semilla de piñón. Presenta inconvenientes en uno de sus equipos en el área de laboratorio. El equipo es una extrusora de semillas o también llamado expeller, el cual tiene la función de extraer un porcentaje de aceite de cierta cantidad de semillas. Desde su construcción el equipo no cumple con su función, por lo que se acordó realizar un rediseño para mejorar el porcentaje de aceite extraído.

Se fijó una reunión en las instalaciones de INIAP ubicadas en la ciudad de Portoviejo. Donde se nos presentó el equipo actual, además de demostrarnos que el equipo no funcionaba. Por lo que se decidió hacer un rediseño del tornillo sin fin, de la camisa y del dado o troquel. Debido a que no existen Normas específicas para el diseño de un equipo como éste. Este proyecto se lo realizo basándonos en publicaciones científicas y tesis acerca de extrusoras de semillas, además de textos acerca de extrusión y extrusión de alimentos.

El diseño de la camisa se lo hizo de una sola sección, el tornillo se lo diseño con Diámetro interno variable. Estas dos características hacen que se produzca un incremento gradual de la presión interna del expeller. Se incrementó la altura del diente al inicio del tornillo en la sección de alimentación es decir en la tolva, para que la semilla pueda ingresar con mayor facilidad.

Se logró cumplir con el principal del proyecto, el cual es de extraer aceite de las semillas, diseñando un prototipo totalmente diferente al actual.

Palabras Clave: Expeller, Oleaginosas, Troquel

ABSTRACT

The National Institute of Agricultural Research, a public institution responsible for carrying out research on different seeds. It is in a process of research on oilseeds, which says that biodiesel can be produced from the oil extracted from the pine seed. He has problems in one of his teams in the laboratory area. The equipment is a seed extruder or also called expeller, which has the function of extracting a percentage of oil from a certain amount of seeds. Since its construction the equipment does not fulfill its function, for which reason it was agreed to carry out a redesign to improve the percentage of oil extracted.

A meeting was scheduled at the INIAP facilities located in the city of Portoviejo. Where the current team was presented to us, in addition to showing us that the equipment did not work. So it was decided to do a redesign of the endless screw, the sleeve and die or die. Because there are no specific rules for the design of a team like this. This project is based on papers and theses about seed extruders, as well as texts about extrusion and extrusion of food.

The design of the shirt was made from a single section, the screw was designed with internal variable. These two characteristics cause a gradual increase in the internal pressure of the expeller. The height of the tooth was increased at the beginning of the screw in the feeding section, that is, in the hopper, so that the seed could enter more easily.

It was possible to comply with the main project, which is to extract oil from the seeds, designing a prototype totally different from the current one.

Keywords: Expeller, Oilseeds, Die

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Marco teórico.....	2
1.3.1 Piñón.....	3
1.3.2 Tipos de procesos para la extracción del aceite.....	4
CAPÍTULO 2.....	10
2. METODOLOGÍA.....	10
2.1 Mecanismo de Extracción.....	11
2.1.1 Ventajas y desventajas de los procesos de extracción.....	12
2.2 Diseño de la maquina extrusora tipo Expeller.....	13
2.2.1 Partes de la extrusora tipo Expeller.....	13
2.2.2 Tolla o alimentador.....	14
2.2.3 Husillo o tornillo sin fin.....	14
2.2.4 Camisa o barril.....	15
2.2.5 Motor reductor.....	16
2.2.6 Mecanismo de transmisión.....	17
2.3 Matriz de decisión.....	17

2.3.1	Método de evaluación	17
2.3.2	Selección de método de extracción	19
2.3.3	Tipos de tornillo.....	19
2.3.4	Tipos de camisa	20
2.4	Análisis del Diseño mecánico	21
2.4.1	Parámetros de operación del tornillo.....	21
2.4.2	Parámetros geométricos del tornillo.....	22
2.4.3	Diseño del hilo del tornillo	23
2.4.4	Análisis y comportamiento del fluido.....	25
2.4.5	Diseño estático de la flecha	30
2.4.6	Diseño dinámico de la flecha	32
2.4.7	Diseño de la camisa.....	33
2.4.8	Diseño de la del dado	35
CAPÍTULO 3.....		36
3.1	Tabulación de resultados.....	36
3.2	Simulaciones	38
3.3	Pruebas de Prototipo	40
CAPÍTULO 4.....		44
4.1	Conclusiones	44
4.2	Recomendaciones.....	46

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ASTM American Society for Testing and Materials

INIAP Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetro
Kg	Kilogramo
RPM	Radianes por minuto
HP	Caballos de fuerza
KW	Kilowatt
Mpa	Mega Pascales

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Características físicas de la semilla	3
Figura 1.2 Prensa tipo Expeller	7
Figura 2.1. Metodología de trabajo	10
Figura 2.2. Metodología del proyecto en la etapa de diseño	11
Figura 2.3. Características de Operación de Expeller por su tipo de corte	22
Figura 2.4 Geometría típica de un tornillo sin fin.....	23
Figura 2.5 Longitud del hilo en voladizo.....	24
Figura 2.6 Geometría interna de un Expeller.	25
Figura 2.7 Diagrama de incremento de presión en un tornillo simple.	26
Figura 2.8 Geometría interna de un Expeller.	29
Figura 2.9 DCL de la flecha	30
Figura 2.10 Diagrama cortante de la flecha	31
Figura 2.11 Diagrama cortante de la flecha	31
Figura 2.12 Distribución de presión en paredes de un cilindro	33
Figura 3.1 Representación de esfuerzos por colores en el tornillo	39
Figura 3.2 Representación de esfuerzos por colores en la camisa.....	40
Figura 3.3 Representación de esfuerzos por colores en el dado	40
Figura 3.4 Tornillo sin fin.....	41
Figura 3.5 Estructura completa	41
Figura 3.6 Ensayos en taladro de pedestal.....	42
Figura 3.7 Pared interna de camisa modificada.....	42
Figura 3.8 Aceite extraído de las semillas	43
Figura 3.9 Formación de la torta al interior del dado.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características físicas de la semilla	4
Tabla 2.1 Ventajas y desventajas del método de extracción	12
Tabla 2.2 Ventajas y Desventajas de Tipos de tolvas.....	14
Tabla 2.3 Ventajas y Desventajas de Tipos de Tornillos	15
Tabla 2.4 Ventajas y Desventajas de Tipos de camisas o barril	16
Tabla 2.5 Tipos de motorreductores.	16
Tabla 2.6 Tipos de mecanismos de transmisión	17
Tabla 2.7 Valoración de los parámetros significativos	18
Tabla 2.8 Ponderación a tipo de proceso de extracción	19
Tabla 2.9 Ponderación a tipo de proceso de extracción	20
Tabla 2.10 Ponderación a Tipos de camisas	21
Tabla 3.1 Parámetros geométricos del tornillo.....	36
Tabla 3.2 Parámetros de velocidad del tornillo	36
Tabla 3.3 Parámetros de comportamiento del fluido en el expeller	37
Tabla 3.4 Parámetros de diseño del tornillo.....	37
Tabla 3.5 Parámetros de diseño de la camisa	38
Tabla 3.6 Parámetros de diseño del dado	38

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria (INIAP), creada por el gobierno de 1959, lleva años buscando soluciones a los problemas que aquejan a la producción agropecuaria. (ganadería M. d., 2000)

Con el fin de encontrar una alternativa a diferentes productos que contienen derivados de petróleo para su producción. El INIAP lleva años buscando soluciones innovadoras para poder sustituir estos componentes en los productos, mediante la energía biomasa, la cual la generan utilizando diferentes semillas existentes en el país. Una de esas es la semilla de piñón, la cual, el instituto lleva más de cinco años de investigaciones, con el fin de utilizar su aceite como una opción para la producción de biodiesel. (ganadería M. d., 2000)

El INIAP está en la búsqueda de un prototipo con el cual se pueda extraer aceite de piñón manteniendo una buena calidad y eficiencia para realizar diferentes análisis ya sea del proceso como de la semilla.

La extracción del aceite de la semilla de piñón se realiza con la finalidad de utilizarlo en varias aplicaciones como productos estéticos y más recientes aún como fuente de energía alternativa, siendo este último una fuente muy requerida para la elaboración de biodiesel con el fin de contribuir al cuidado del medio ambiente evitando la explotación de derivados del petróleo y disminuyendo la contaminación que se genera al ser utilizados y expuestos a la naturaleza. La extracción del aceite se los puede realizar por varios métodos, lo cual se necesita encontrar un sistema el cual sea eficiente en términos energéticos y de extracción.

Dentro de los parámetros analizados el problema general encontrado es la efectiva extracción de aceite de las semillas de piñón, con un sistema de extracción tipo expeller que emplea un tornillo sin fin como elemento principal el cual opera en ciclos continuos, manteniendo la calidad del aceite.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Diseñar un sistema de extracción de aceite de semillas de piñón a partir del prototipo entregado por el INIAP

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Diseñar los elementos estructurales del sistema de extracción.
- Diseñar el helicoide del tornillo sin fin.
- Seleccionar materiales para la construcción del sistema.
- Elaborar planos constructivos del sistema de extracción
- Elaborar plan de mantenimiento del sistema de extracción.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Semillas oleaginosas

Las semillas oleaginosas contienen en sus células aceite, los cuales a lo largo de la historia han sido usados a manera de fuentes alimenticias, productos estéticos y más recientes aún como fuente de energía alternativa. (González M., 2008)

Esta última mencionada es un campo que está adquiriendo más fuerza en los últimos años. Con el objetivo de reemplazar los combustibles derivados del petróleo, se está fomentando la producción de biocombustibles, los cuales pueden derivar de los aceites de algunas semillas oleaginosas mediante un proceso de refinación. (González M., 2008)

1.3.2 Piñón

La planta de piñón (*Jatropha Curcas*), es una planta que se encuentra en regiones tropicales y subtropicales la cual se ha podido adaptar en diferentes partes del mundo, tiene una estatura entre 4 a 6 metros de altura. Crece desde el nivel del mar hasta doscientos metros sobre el nivel del mar. Está adaptada a suelos arenosos y secos por lo que requiere una precipitación mínima al año de 250mm/año. (Núñez, 2009)



Figura 1.1 Características físicas de la semilla

Fuente: (ganadería M. d., 2000)

El piñón, es un arbusto perenne que crece en zonas secas y en terrenos degradados, de baja fertilidad, que no son apropiados para otros cultivos. En el Ecuador se encuentra desde el nivel del mar hasta los 1500 metros. Podemos decir que, en las provincias de Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, y Guayas, tenemos un aproximado de 700 hectáreas de plantaciones como cerca viva. Los agricultores usan el piñón como cerca viva, y tradicionalmente sus frutos se utilizan para fabricar jabones caseros. (ganadería M. d., 2000)

La semilla de piñón puede obtenerse en producciones de entre uno y diez toneladas de semillas por hectárea, dependiendo de la edad de las plantas, zonas de cultivo y uso de riego.

El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) investiga este cultivo con la finalidad de obtener variedades y tecnologías

adecuadas para la producción, procesamiento e industrialización de sus semillas, de donde se extrae aceite para biocombustibles.

A partir del estudio realizado por los ingenieros Gustavo Aveiga y Franklin Peñafiel, de la Investigación “Obtención de parámetros de diseño para unidad experimental de producción de biodiesel a partir de aceite refinado de semillas de *Jatropha Curcas*”, sabemos:

Tabla 1.1 Características físicas de la semilla

Coloración	Marrón
Largo	18.157 ± 0.07 (mm)
Ancho	11.089 ± 0.04 (mm)
Espesor	8,8247 ± 0.04 (mm)
Volumen unitario	7,4667 ± 0.07 (cm ³)

Fuente: (Ing. Gustavo Aveiga, Obtención de parámetros de diseño para unidad experimental de producción de biodiesel a partir de aceite refinado de semillas de *Jatropha Curcas*, 2017)

Las semillas tienen una cantidad de aceite entre 40-60% en base al peso de la semilla, las utilidades de este aceite son aplicables en la actualidad en la medicina, insecticidas, lubricantes, biodiesel. Aunque este aceite tenga una composición química similar a los aceites utilizados para la alimentación no es comercializado debido a su toxicidad atribuida a los esteroides de forbol presentes. (Ing. Gustavo Aveiga, Obtención de parámetros de diseño para unidad experimental de producción de biodiesel a partir de aceite refinado de semillas de *Jatropha Curcas*, 2017)

El rendimiento de la extracción de aceite de las semillas depende del método de extracción, existen varios métodos entre los principales métodos tenemos los mecánicos utilizando una prensa hidráulica (Tipo RAM) o una prensa impulsada por motor (Tipo expeller), extracción por medio de agua, extracción química (enzimas y solventes).

1.3.3 Tipos de procesos para la extracción del aceite.

La separación del aceite de las semillas se viene dando durante muchas décadas, por lo que se han creado diversos métodos de extracción, pero

la más utilizada ha sido la trituración de la semilla. En general los procesos más utilizados son los tipos mecánicos como RAM y expeller y tipos químicos que es la extracción con solventes como hexano y la bencina.

Además, existen otros métodos como son; extracción con microondas, partición trifásica, por ultrasonido, entre otros. (Putter, 2010)

1.3.3.1 Extracción con solventes.

Este tipo de proceso es definido por la extracción de un líquido de una muestra por la reacción de un solvente con la materia prima, sin afectar el resto de la materia prima. Existen diferentes métodos para aplicar dicho proceso, y estos se los puede realizar en los tres estados de la materia, el nombre que se utiliza para cada proceso son:

1. Extracción sólido – líquido.
2. Extracción líquida – líquida.
3. Extracción gas – líquido.

De estos tres métodos, el proceso que más se utiliza para la extracción de aceites es la extracción sólido – líquido, la cual es necesita un equipo Soxhlet, la cual aplica para la obtención de diferentes activos de los tejidos vegetales.

Este tipo de proceso y en general los procesos con de extracción con solventes tiene muy baja eficiencia, al aplicar el solvente, debido a que el solvente que está en contacto con lo extraído se satura inmediatamente, por lo tanto, se necesita aplicar solvente fresco repetidamente para obtener un buen proceso. Lo cual implica utilizar grandes cantidades de solvente y atención permanente en el proceso por personal capacitado.

Este tipo de método de extracción, se debe realizar en lugares espaciosos ya que los solventes se los utiliza en su mayoría de veces a altas temperaturas, además de que al finalizar el proceso

la materia residual adquiere altas temperaturas por la que se debe tener disponibilidad para maniobrarla.

De otra manera, la eficiencia de extracción de aceite en semillas como el caso de *Jatropha Curcas* que tienen gran cantidad de aceites y baja cantidad de sólidos es alta, aproximadamente del 99% y en el caso de semillas como la soya que tienen menor porcentaje de aceite y mayor porcentaje de sólidos, el material con residuo puede quedarse con un 20% a 25 % del total de aceite. Entre los inconvenientes encontrados en este tipo de proceso es el alto costo de instalación inicial, lo dificultoso del proceso ya que ciertas semillas tienen a desintegrarse al tener contacto con el solvente y la manipulación tiene que ser de personal capacitado. (Putter, 2010)

1.3.3.2 Extracción con prensas tipo RAM

Estas prensas se las puede denominar que son de producción discontinua, se caracterizan por ser de baja producción. Están compuestas por una camisa y un pistón que sirven para prensar la semilla y poder extraer el aceite. Estas prensas generalmente son manuales, acopladas a un sistema hidráulico, son muy utilizadas en zona donde no hay energía eléctrica, la extracción del aceite no es óptima debido a que el prensado se realiza en frío o en temperaturas menores a los 60 °C y esta depende de la presión que ejerce el operario en ella. (Putter, 2010)

1.3.3.3 Extracción con prensas tipo Expeller

Este tipo de sistema se lo puede definir de producción continua, estas máquinas por lo general son de alta presión y alta producción.

Las semillas son introducidas en una tolva, El tornillo sin fin o husillo, gira dentro de una camisa, el cual transporta y muele las semillas reduciendo el espacio libre entre estas hasta la boquilla o cabezal, lugar donde se estrangulan y se ejerce la máxima presión, lo cual provoca la salida del aceite que fluirá por el espacio entre el husillo y la camisa hasta encontrar las ranuras de salida.



Figura 1.2 Prensa tipo Expeller

Fuente: (Gemco Energy, 2004)

Los tipos de prensas Expeller más comunes son las de tipo cilindro agujereado y tipo filtro. Las de tipo cilindro agujereado consisten básicamente en que el aceite fluye a través de unos agujeros que están presentes en una parte de la camisa antes de la zona de calentamiento o entre dos zonas de calentamiento. Por lo general se usan para producción de hasta 200 Kg/h de grano. A estas se le puede adaptar zonas de calentamiento si así lo requiere el proceso, además de poderse adaptar a diferentes tipos de semillas al cambiar la velocidad de rotación de operación y el diámetro de la boquilla.

Las prensas tipo filtro, tienen un filtro para la salida del aceite en toda la longitud de la camisa. El filtro consiste en una jaula cilíndrica compuesta de barras horizontales o anillos verticales dispuestos a manera de dejar pequeños espacios entre ellos, el espaciamiento puede ser fijo o ajustable. El diámetro del tornillo se hace más grande conforme va alcanzando la salida, para que así se incremente la presión a medida que la semilla avanza dentro de la camisa. Estos pueden fabricarse de una sola pieza, con

cambios de sección teniendo como propósito crear varias etapas de compresión. También se puede fabricar en sub-secciones con diferentes tamaños y formas, con el propósito de dar una mayor flexibilidad al equipo. Este tipo de prensas tiene una capacidad de producción que va desde los 15 kg/h hasta las 10 ton/h de grano. (Putter, 2010)

En este tipo de sistema la calidad del aceite y el porcentaje de extracción dependen de ciertos parámetros como la velocidad de rotación del tornillo sin fin, la geometría de este, la camisa, la temperatura de entrada de la semilla, la humedad, entre otros. (Putter, 2010).

Como principales ventajas están el ahorro de mano de obra y el rendimiento en cantidad de aceite extraído con respecto a las prensas hidráulicas. Por otro lado, tienen desventajas como el gasto de energía relativamente alto, y requieren de una buena práctica de operación y conservación.

Un tornillo extrusor tipo expeller desde un punto de vista ingenieril, se lo puede considerar como una bomba por lo que presenta la siguiente característica:

- El extrusor es considerado como un intercambiador de calor dado a que tiene gran superficie de contacto con la pared interna de la camisa, además de la presión generada por el avance de las semillas.

El sistema de extracción tipo expeller es un mecanismo que, por medio de un tornillo sin fin, el cual es impulsado por un motor eléctrico, direcciona la semilla a través de sistema de camisas con el fin de estrangular la materia prima generando una presión elevada y proporcionar una extracción continua del aceite. Por lo

tanto, existen diferentes diseños de extractores tipo Expeller los cuales son diferenciados por sus tornillos sin fin, que son:

- Tornillo simple con paso y diámetro constante,
- Tornillo simple con paso constante y diámetro variable,
- Tornillo simple con diámetro constante y paso variable,
- Tornillo simple con diámetro y paso variable.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El equipo a diseñar, según los requerimientos del INIAP es un sistema experimental que nos permitirá una mayor eficiencia en la extracción del aceite de piñón. Para ello, se presenta a continuación la metodología de trabajo a partir de siguiente diagrama de flujo.

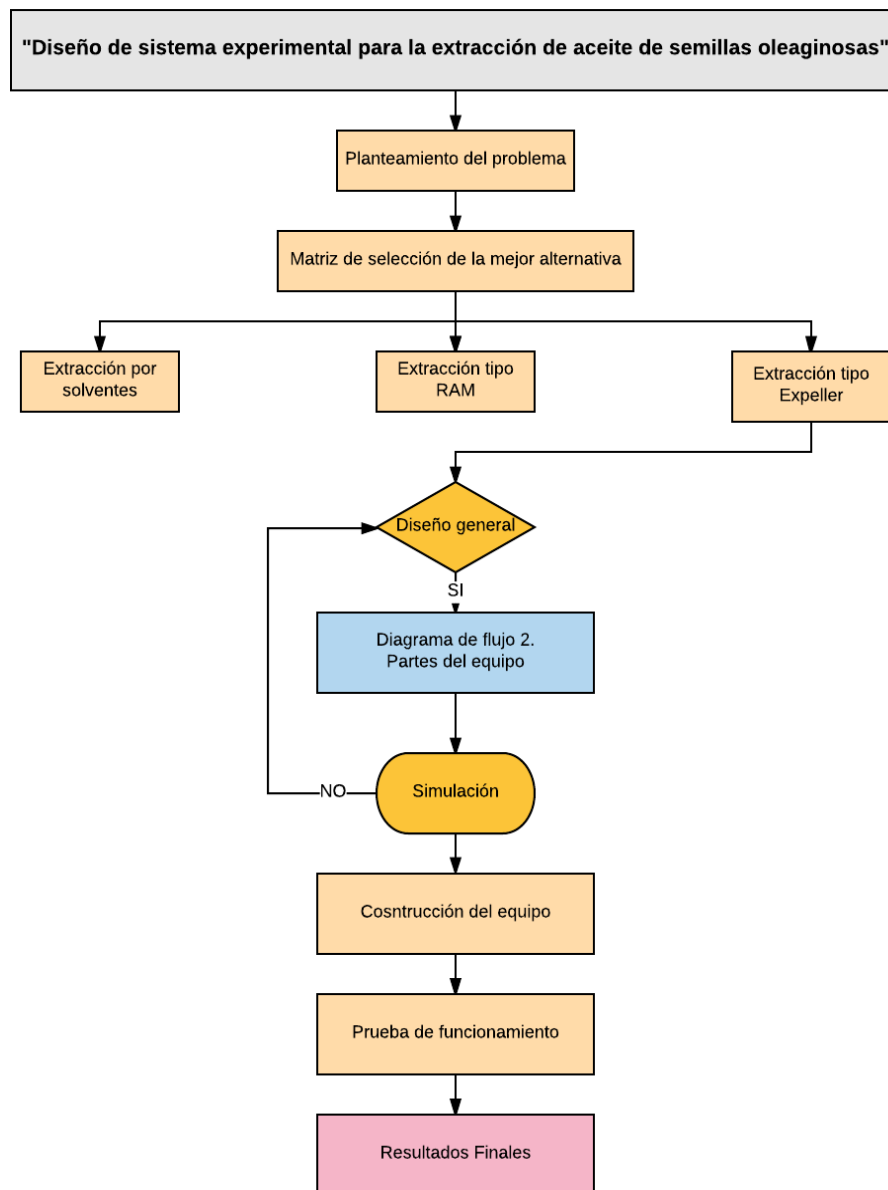


Figura 2.1. Metodología de trabajo

Fuente: Elaboración propia

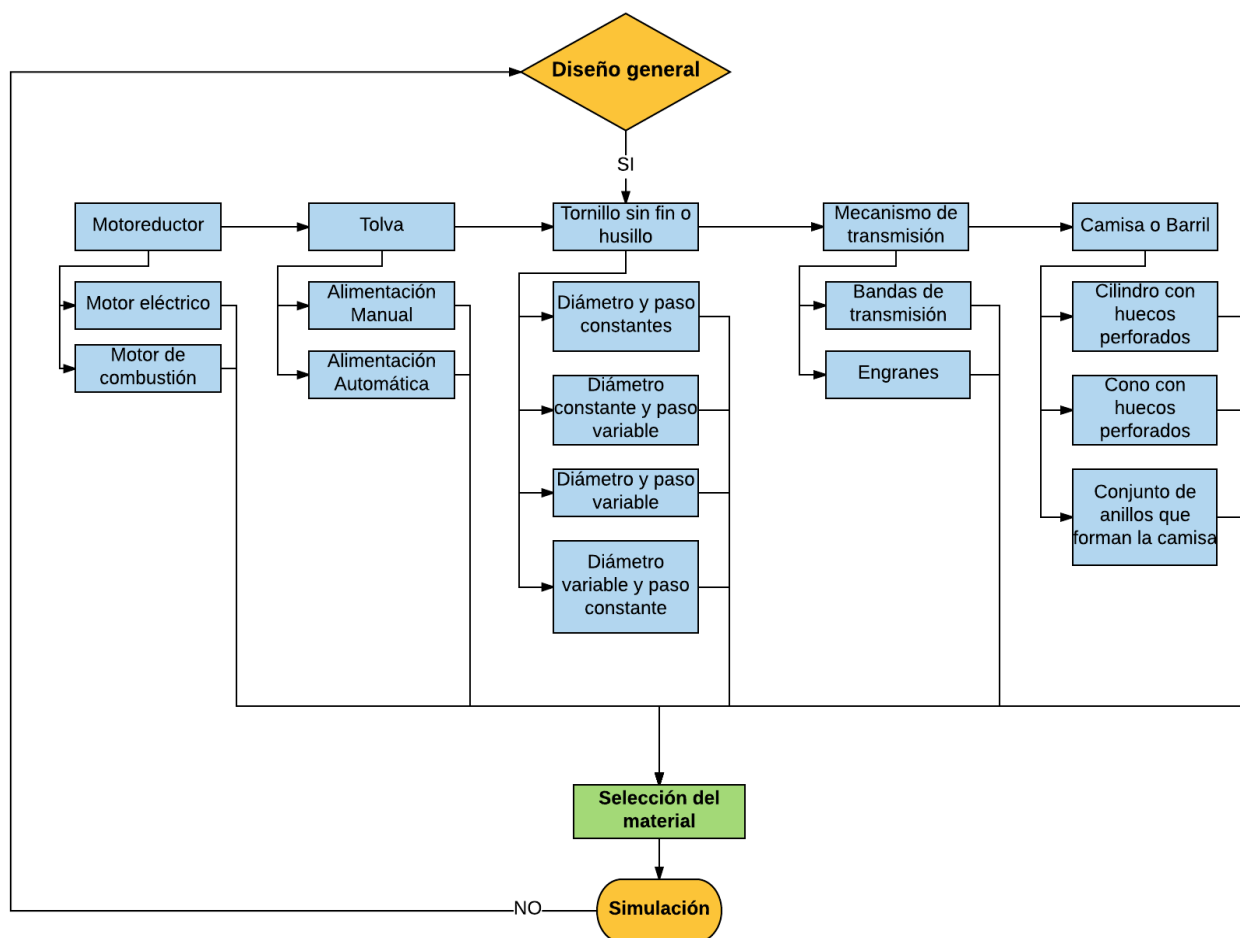


Figura 2.2. Metodología del proyecto en la etapa de diseño

Fuente: Elaboración propia

2.1 Mecanismo de Extracción.

Esta sección se basa en la selección de la mejor opción para el diseño y construcción del equipo, entre los principales métodos mencionados capítulo 1 correspondiente al marco teórico, son:

- Extracción con solventes.
- Extracción con prensas tipo RAM.
- Extracción con prensas tipo Expeller.

Se hace necesario conocer los diferentes ventajas y desventajas de los mecanismos de extracción, a partir de los estudios bibliográficos y experiencias documentadas, con la finalidad de analizar de forma detallada los

métodos de extracción industrial conllevando a optimizar el proceso óptimo para la extracción de aceite para semillas de piñón (*Jatropha curcas*).

2.1.1 Ventajas y desventajas de los procesos de extracción

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas del método de extracción

Métodos de extracción	Ventajas	Desventajas
Extracción con solventes.	<p>1) En este tipo de extracción la eficiencia es muy alta debido a que el aceite residual obtenido una vez terminado el proceso tiene un porcentaje muy bajo.</p> <p>2) El solvente siempre está en contacto íntimo y repetido con la semilla, por lo que mejora la extracción porque siempre se necesita un solvente limpio.</p> <p>3) No se requiere de filtración al finalizar el proceso ya que el solvente se evapora.</p>	<p>1) Este proceso de extracción siempre se necesita una preparación previa de la semilla como trituración para obtener un tamaño definido, por lo que se necesita realizar obligado otro proceso adicional.</p> <p>2) El proceso es lento y no puede acelerarse.</p> <p>3) El proceso es discontinuo, una vez terminado el proceso de extracción por solvente, se necesita tener en reposo al producto hasta llegar a una temperatura que pueda ser manipulable.</p> <p>4) Se necesita una gran inversión inicial.</p> <p>5) Se requiere una alta cantidad de solventes.</p> <p>6) El personal de obra tiene que ser especializada, ya que tiene que tener conocimiento de laboratorio por lo tanto esto encarece el proceso.</p>

<p>Extracción con prensas tipo RAM</p>	<p>1) Este método de extracción, puede ser muy empírico por lo que no se necesitaría mucha tecnología para emplearlo por lo tanto el costo no sería muy elevado.</p> <p>2) Este tipo de equipos tiene una estructura simple, se necesitaría un sistema con cremalleras o pistón para generar una presión suficiente sobre la semilla para que esta sea comprimida.</p> <p>3) Este método de extracción al ser de baja tecnología y estructura simple, cualquier persona puede realizarle mantenimiento y operarla, por lo que disminuiría el gasto de producción.</p>	<p>1) Es un proceso discontinuo, por lo que el tiempo de producción va a tener pérdidas por cuestión del abastecimiento de la semilla, extracción de las bandejas de torta, y otros por lo que el rendimiento se vería afectado.</p> <p>2) Es un proceso de baja capacidad de producción.</p> <p>3) La eficiencia del sistema de acuerdo al volumen de aceite extraído es menor comparándolo con el método de extracción con prensas tipo expeller sabiendo que ambos son de tipo mecánico.</p>
<p>Extracción con prensa tipo Expeller</p>	<p>1) Es un proceso continuo, no se necesita realizar paradas para abastecimiento de materia prima al igual que extracción de torta, por lo tanto, el rendimiento es aceptable</p> <p>2) Estos equipos son de alta producción.</p> <p>3) EL proceso no requiere de una alta cantidad de personal, por lo no aumentaría el costo de producción.</p> <p>4) La eficiencia del sistema de acuerdo al volumen de aceite extraído es aceptable</p>	<p>1) Este tipo de proceso necesita una mayor cantidad de energía relacionando con el método de extracción con prensas tipo RAM y extracción con solventes, debido a que en este proceso es común tener motores de alta potencia.</p>

Fuente: Elaboración propia

2.2 Diseño de la maquina extrusora tipo Expeller

2.2.1 Partes de la extrusora tipo Expeller

La función de este tipo de máquinas es extraer el aceite generando una presión en las semillas para que se compriman y se extraiga el aceite.

Es necesario mencionar las partes que la componen y las alternativas de diseño de cada una. Las maquinas extrusoras tipo Expeller se conforman generalmente de la siguiente forma:

- Tolva o alimentador.
- Husillo o tornillo sin fin.
- Camisa o barril.
- Motor reductor.

- Mecanismo de transmisión.

2.2.2 Tolva o alimentador

Es un dispositivo similar a un embudo, el cual es utilizado para el depósito y canalización de materiales.

Las tolvas podemos clasificarlas por su mecanismo de alimentación, el cual tenemos manual o automático.

Tabla 2.2 Ventajas y Desventajas de Tipos de tolvas.

Tipos de tolva.	Ventajas	Desventajas
Alimentación manual	1)Bajo costo de fabricación 2) Bajo consumo energético. 3) Fácil mantenimiento.	1) Baja producción.
Alimentación automática	1) Alta producción.	1) Alto costo de fabricación. 2) Alto consumo energético. 3) Difícil mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Husillo o tornillo sin fin

Los diferentes tornillos que tenemos dentro del diseño del equipo de extracción tipo Expeller antes mencionados en el marco teórico, son los siguientes:

- Tornillo simple con paso y diámetro constante.
- Tornillo simple con paso constante y diámetro variable.
- Tornillo simple con diámetro constante y paso variable.
- Tornillo simple con diámetro y paso variable.

Es indispensable diferenciar las ventajas que nos brindan cada tornillo al igual que las desventajas presentes.

Tabla 2.3 Ventajas y Desventajas de Tipos de Tornillos

Tipos de tornillos o husillos	Ventajas	Desventajas
Tornillo simple con paso y	1) Bajo costo de fabricación. 2) Fácil diseño y construcción.	1) Menor eficiencia de producción
Tornillo simple con paso constante y diámetro variable	1) Mayor eficiencia de producción	1) Difícil diseño y construcción. 2) Mayor costo de fabricación. 3) Dificultad en mantenimiento.
Tornillo simple con diámetro constante y paso variable,	1) Medianamente costosa su fabricación. 2) Fácil diseño y construcción. 3) Dificultad media en mantenimiento.	1) Dificultad en mantenimiento.
Tornillo simple con diámetro y paso variable	1) Buena eficiencia de producción	1) Costosa fabricación. 2) Difícil diseño y construcción. 3) Dificultad en mantenimiento. 4) Alto consumo energético.

Fuente: Elaboración propia

2.2.4 Camisa o barril

La camisa o barril es un cuerpo hueco perforado el cual sirve como limitación para la materia prima, la cual soporta la presión generada por la materia prima y el tornillo sin fin el cual permite la salida del aceite y la retención de la torta o materia prima ya procesada. Entre los tipos de camisas tenemos:

- Cilindro con huecos perforados.
- Cono con huecos perforados.
- Conjunto de anillos que forman la camisa.

Tabla 2.4 Ventajas y Desventajas de Tipos de camisas o barril

Tipos de Camisa o Barril	Ventajas	Desventajas
Cilindro con huecos perforados	1) Fácil diseño y construcción. 2) Menor costo de fabricación entre todas las camisas 3) Bajo consumo de energía. 4) Fácil mantenimiento.	2) Su producción está limitada por 100Kg/hora de semilla.
Cono con huecos perforados	1) Bajo consumo de energía. 2) Fácil mantenimiento.	1) Alto costo de fabricación. 2) Dificil diseño y construcción.
Conjunto de anillos que forman la camisa	1) Es utilizada para alta producción (100 Ton/hora) de semilla. 2) Resiste altas presiones.	1) Este tipo de camisa funciona por lo general con un eje cónico, el cual su construcción es más costoso y difícil. 2) Dificultad para dar mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia

2.2.5 Motor reductor

Un motor es una máquina del sistema la cual funciona con algún tipo de energía (eléctrica, de combustión, etc.). Y la transforma en energía mecánica para realizar un trabajo, y el reductor disminuye la rotación del rotor con una relación de engranes para llegar a obtener una velocidad necesaria. El tipo de clasificación que vamos a realizar, es mediante la forma de energía necesaria, los que tenemos:

- Motor eléctrico
- Motor de combustión

Tabla 2.5 Tipos de motorreductores.

Tipos de motorreductores	Ventajas	Desventajas
Motor eléctrico	1) Tamaño y peso reducido 2) Alto rendimiento 3) Silencioso, limpios y apenas vibran. 4) No emiten emisiones	1) Mantenimiento costoso 2) Dificultad en mantenimiento 3) limitaciones en cuanto a la potencia.
Motor de combustión	1) Altas potencias.	1) Altas vibraciones. 2) Emiten emisiones. 3) Mantenimiento costoso

Fuente: Elaboración propia

2.2.6 Mecanismo de transmisión

Un mecanismo es un dispositivo que transforma el movimiento producido por un elemento motriz (fuerza de entrada) en un movimiento deseado de salida (fuerza de salida) llamado elemento conducido (Tecnología, 2016)

Entre los mecanismos de transmisión, tenemos:

- Bandas o cadenas de transmisión.
- Engrane

Tabla 2.6 Tipos de mecanismos de transmisión

Tipos de mecanismo de transmisión	Ventajas	Desventajas
Bandas o cadenas de transmisión	1) Costo de fabricación baja. 2) Fácil mantenimiento.	1) Menor eficiencia energética que engranes. 2) Se requiere mayor espacio.
Engranes	1) Alta eficiencia energética. 2) No se requiere gran espacio.	1) Alto costo de fabricación. 2) Difícil mantenimiento.

Fuente: Elaboración Propia

2.3 Matriz de decisión

2.3.1 Método de evaluación

La metodología de evaluación se basa en dar un valor de ponderación a los distintos parámetros a considerar para la obtención de la mejor selección del equipo. Los rangos de calificación considerada son:

- Puntuación 1, deficiencia del parámetro de medición
- Puntuación 2, Parámetro aceptables, pero no cumple ciertas condiciones.
- Puntuación 3 definiendo a la excelencia

A continuación, se muestra el criterio de selección, justificando el puntaje:

Tabla 2.7 Valoración de los parámetros significativos

Parámetros	Puntaje asignado	Justificación del puntaje
Consumo energético	3	El equipo o elemento cumple con el consumo energético necesario para cumplir con su propósito.
	3	No requieren de energía eléctrica para el propósito del proyecto.
	2	La energía consumida cumple su propósito, existiendo cierta liberación de energía.
	1	La energía consumida por el equipo resulta muy elevada debido a que el trabajo que realizado por el equipo necesita de un alto consumo energético.
factibilidad económica	3	El equipo está conformado por menor cantidad de partes.
	3	Las partes pueden ser compradas bajo las especificaciones del proyecto, así se evita fabricarlas.
	2	Existen ciertos componentes del equipo que podrían comprarse hechas y otras que deben fabricarse ya que no existen en el mercado.
	1	Es necesario manufacturar cada componente del equipo ya que no existe en el mercado estos componentes con las especificaciones de diseño para el propósito de este proyecto.
Facilidad de operación y mantenimiento	3	No existe complejidad en el uso del equipo.
	3	El mantenimiento no requiere de mucho tiempo, por lo que no influye en el tiempo de producción.
	2	Requiere de supervisión, los primeros días de uso, tanto para su uso y mantenimiento.
	1	Se deben realizar capacitaciones en la primera semana, para explicar su uso.
	1	El mantenimiento requiere un pare a la producción.
Capacidad de producción	3	Tienen una capacidad de producción de entre 40 - 200 kg/h
	2	Pueden procesar grandes toneladas diarias, el problema es el tamaño
	1	Requiere de una preparación previa con químicos, por lo que la producción diaria es baja.
% de aceite obtenido	3	Es ideal para semillas que tienen un porcentaje mayor de 35 % de aceite en peso por semilla. Usado para plantas con alto contenido de aceite.
	2	Obtiene menos de 30% de aceite en peso por semilla, hoja o fruto.
	1	Requiere pasar más de una vez por el proceso, para lograr más del 30% de aceite en peso por semilla.

Fuente: Elaboración Propia

2.3.2 Selección de método de extracción

Es muy importante tener en claro que lo necesario en el sistema para que sea eficiente con relación a su producción de aceite de piñón es que deba tener bajo consumo energético, factibilidad económica, facilidad de operación y mantenimiento, capacidad de producción, porcentaje de aceite obtenido. Por lo tanto, ya que hemos realizado un análisis de las ventajas y desventajas de los procesos de extracción, podemos realizar un sistema de selección para la alternativa adecuada.

Tabla 2.8 Ponderación a tipo de proceso de extracción

Procesos de extracción	Consumo energético	factibilidad económica	Facilidad de operación y mantenimiento	Capacidad de producción	Porcentaje de aceite obtenido	Total
Extracción por solventes	3	1	1	1	3	9
Extracción Tipo RAM	2	2	2	2	2	10
Extracción tipo Expeller	2	2	3	3	3	13

Fuente: Elaboración Propia

Tomando en cuenta todos los parámetros mencionados, hemos llegado a la conclusión que la alternativa de extracción por prensas de tipo Expeller tiene las mejores cualidades para nuestro proyecto que es la eficiente extracción de aceite de piñón.

2.3.3 Tipos de tornillo

A los diferentes tipos de tornillos sin fin antes mencionados los cuales podrían ser utilizados para el correcto funcionamiento dentro de una maquina tipo Expeller, les realizamos un análisis evaluándolos dependiendo los siguientes parámetros: bajo consumo energético, factibilidad económica, facilidad de operación y mantenimiento, capacidad de producción, esta evaluación fue basado con los criterios explicados en la tabla de método de evaluación.

A continuación, presentamos la matriz de decisión:

Tabla 2.9 Ponderación a tipo de proceso de extracción

Tipos de tornillo	consumo energético	factibilidad económica	Facilidad de operación y mantenimiento	Capacidad de producción	Porcentaje de aceite obtenido	Total
Paso y diámetro constante.	3	3	3	2	1	12
Paso constante y diámetro variable.	2	3	3	3	3	14
Diámetro constante y paso variable.	2	2	2	2	3	11
Diámetro y paso variable.	1	1	1	3	3	9

Fuente: Elaboración Propia

Podemos observar que el tornillo simple con paso constante y diámetro variable es el que nos brinda una mejor ponderación, ya que su porcentaje de aceite obtenido, además de presentar un puntaje similar en la factibilidad económica que el de paso y diámetro constante por lo que su costo de fabricación estará casi a la par.

2.3.4 Tipos de camisa

Existen diversos tipos de camisas las cuales tienen diferente geometría que influyen en parámetros como presión y temperatura en la sección de extrusión, entre el tornillo y la camisa. Los parámetros de selección de la camisa están:

- El consumo energético que está relacionada con la forma de la camisa, es decir, si es cónica o recta. La cónica generara mayor presión y temperatura por lo que existirá liberación de energía en forma de calor, por lo que no toda la energía consumida se la utilizaría en la extrusión de la semilla.

- La factibilidad económica la cual se traduce en facilidad de fabricación.
- La facilidad de operación y mantenimiento, que me dice que tan complejo es el protocolo de uso y mantenimiento de la máquina.
- La capacidad de producción estará ligada a la recolección de semillas y horas de trabajo de la máquina al día, lo que nos permitirá dimensionar la camisa.

Tabla 2.10 Ponderación a Tipos de camisas

Tipos de camisas	Consumo energético	Factibilidad económica	Facilidad de operación y mantenimiento	Capacidad de producción	Total
Cilindros con huecos perforados	3	2	3	2	10
Cono con huecos perforados	2	1	3	2	8
Conjunto de anillos	3	1	1	2	7

Fuente: Elaboración propia

2.4 Análisis del Diseño mecánico

2.4.1 Parámetros de operación del tornillo

Para un correcto diseño de un tornillo sin fin para extrusión es indispensable analizar los parámetros físicos y químicos que afectaran al husillo. Si se trata de aspectos físicos que afectan o intervienen al tornillo en su operación, se toma en cuenta la velocidad de rotación que es influenciada por la potencia del motorreductor. Otro punto es la presión a la que estará sometido el tornillo dentro de la camisa y la temperatura que se generará a medida que trabaje el tornillo.

Entre los parámetros químicos importantes para el diseño del tornillo, están el PH del aceite extraído y la humedad en la que trabajara la maquina Expeller.

Variable de operación	Expeller de corte bajo	Expeller de corte medio	Expeller de corte alto
Humedad de la materia prima (%)	25 – 35	20 – 30	12 – 20
Temperatura máxima del producto (C)	50 -120	125 - 175	150 – 200
Relación Lt/Dt	5 – 8	10 – 20	4 – 12
Relación de compresión	1 : 1.5	2 - 3 : 1	3 – 5 : 1
Velocidad del tornillo (rad/s)	3 – 10	10 – 25	30 – 45
Energía mecánica neta de entrada (kW – hr / kg)	0.03 – 0.06	0.04 – 0.08	0.10 – 0.14

Figura 2.3. Características de Operación de Expeller por su tipo de corte

Fuente: (Gómez Vargas & Villegas Zapater, 2011)

Estos parámetros mencionados son necesarios para el diseño de cada parte del tornillo, tanto en sus dientes como en su diámetro, además de tener gran influencia en la selección del material para fabricar el tornillo.

2.4.2 Parámetros geométricos del tornillo

Es importante señalar la geometría del tornillo, ya que existen partes que están relacionados entre sí, y se la mencionan en la siguiente imagen:

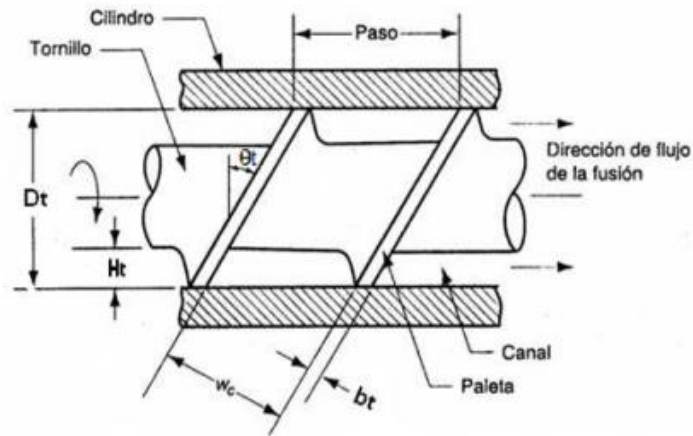


Figura 2.4 Geometría típica de un tornillo sin fin

Fuente: (Groover, 2007)

El tornillo consta de una espiral alrededor de un eje macizo. Dicho de otra manera, la espiral o hilos que serán definidos por: el paso p_t , entre cada diente, la inclinación del diente θ_t , el ancho superior del diente b_t . Entre dientes existe un canal en el cual se transportara y prensaran a la vez, las semillas, este canal tiene una altura H_t , y un ancho w_t .

Es importante mencionar que existirá un pequeño claro H_{ct} o fuga existente entre el diámetro del tornillo y la camisa, esta tendrá un valor aproximado de 0.5 mm que es lo recomendado por Groove para que no exista estancamiento de material.

El radio medio r_m es la media de la altura del hilo y el diámetro del tornillo D_t

$$r_m = \frac{D_t - H_t}{2} \quad \text{Ec.1}$$

La inclinación del diente o ángulo de hélice θ_t , se relaciona con el paso mediante la siguiente ecuación:

$$\theta_t = \tan^{-1} \left(\frac{p_t}{2 * \pi * r_m} \right) \quad \text{Ec.2}$$

2.4.3 Diseño del hilo del tornillo

Para este estudio, se considera al hilo como una viga en voladizo proyectada desde su núcleo. La carga sobre esta, será una carga axial, concentrada en el radio medio, es decir en la mitad de la altura del diente. El ancho de la viga es la longitud de la rosca sometida a la carga.

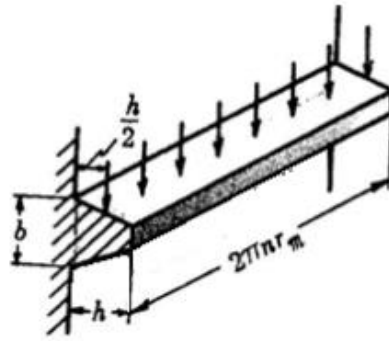


Figura 2.5 Longitud del hilo en voladizo.

Fuente: (Gómez Vargas & Villegas Zapater, 2011)

El área donde se aplica la carga está definida como A_t detallada en la siguiente ecuación: (Groover, 2007)

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot (D_t^2 - (D_t - 2 \cdot H_t)^2)$$

Ec.3

La carga W_x , que actúa a lo largo del tornillo, se obtiene con la presión en la zona final del tornillo o presión de trabajo del tornillo, multiplicada con el área A_t , es decir: (Groover, 2007)

$$W_x = \delta_p \cdot A_t$$

Ec.4

En este contexto la presión de trabajo del tornillo será explicada más adelante.

El esfuerzo que se produce en la base de los dientes según diseño de máquinas de hall se lo denota como: (Hall, Holowenko, & Laughlin, 1971)

$$S_b = \frac{3 \cdot W_x \cdot H_t}{2 \cdot \pi \cdot n_h \cdot r_m \cdot b_t^2}$$

Ec.5

Donde n_h es el número de vueltas del hilo sometidos a presión.

El esfuerzo transversal medio, es decir el esfuerzo provocado por la presión existente en el canal entre los dientes: (Hall, Holowenko, & Laughlin, 1971)

$$S_s = \frac{W_x}{2 \cdot \pi \cdot n_h \cdot r_m \cdot b_t}$$

Ec.6

Para la estimación del factor de seguridad, se aplica el teorema de distorsión máximo, en donde se analiza un esfuerzo equivalente mediante la siguiente ecuación, considerando que el eje es de material dúctil, tenemos: (Hall, Holowenko, & Laughlin, 1971)

$$\sigma_{eq,h} = \sqrt{S_b^2 + 3 \cdot S_s^2} \quad \text{Ec.7}$$

Finalmente, el factor de seguridad se lo determina por medio de la siguiente ecuación: (Hall, Holowenko, & Laughlin, 1971)

$$FS_h = \frac{S_{y_t}}{\sigma_{eq,h}} \quad \text{Ec.8}$$

Donde S_{y_t} es el esfuerzo de fluencia del material del tornillo, en nuestro caso será acero 1018 con un esfuerzo de fluencia de 370 MPa. (Hall, Holowenko, & Laughlin, 1971)

2.4.4 Análisis y comportamiento del fluido

Un tornillo Expeller es elemento que genera esfuerzo diferencial sobre el producto haciéndolo fluir, para lo cual, consta de tres regiones: sección de alimentación, sección de compresión y sección de dosificación. En la sección de alimentación es donde entra el producto a través de la tolva y son transportados como sólidos hasta llegar a la sección de compresión o fusión, donde se localizará la presión de trabajo haciendo que el producto se transformará en una masa plástica para luego llegar a la zona de dosificación en donde se descargará la masa a través del dado, masa resultante llamada torta

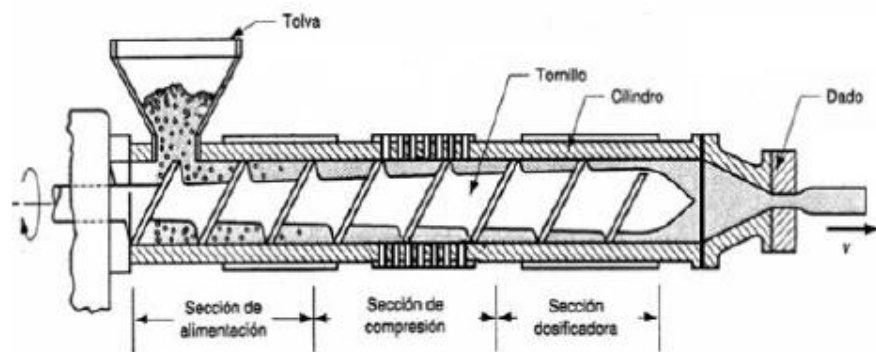


Figura 2.6 Geometría interna de un Expeller.

Fuente: (Galarraga Rivera, 2015)

A medida que el producto avanza longitudinalmente a través del tornillo, existirá un incremento de presión, debido a que la altura del diente disminuirá a lo largo del tornillo, por lo que el canal por donde fluirá el

producto tendrá un área de contacto mucho menor, lo que ocasionará que exista un aumento de la presión, dándose a notar mucho más en la sección de compresión. La disminución de la zona de contacto a medida que el producto avanza en el tornillo, provocará una variación en su viscosidad. En consecuencia, el comportamiento del producto dentro del tornillo podrá ser considerado como no newtoniano o pseudoplástico (Groover, 2007). Se considera a un fluido como no newtoniano como aquel que no tiene viscosidad definida, y, varía en función de la fuerza contante a la que esté sometido (Groover, 2007). A diferencia de los fluidos newtonianos la viscosidad varía en función de la temperatura y presión sin que intervengan otras fuerzas.

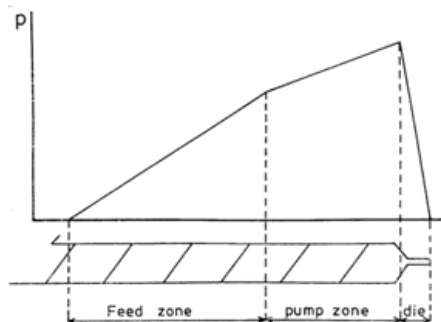


Figura 2.7 Diagrama de incremento de presión en un tornillo simple.

Fuente: (Gómez Vargas & Villegas Zapater, 2011)

La presión de trabajo representado por el gradiente de presión del tornillo, se la resuelve mediante la siguiente ecuación: (Heldman, 2008)

$$\delta_p = \frac{(\alpha \cdot H_t \cdot 1000 \cdot \sin(\theta_t) \cdot \cos(\theta_t) - Q_1) \cdot \mu_{app} \cdot L}{\beta \cdot (H_t \cdot 1000)^3 \cdot \sin(\theta_t) \cdot \sin(\theta_t)}$$

Ec.9

El valor resultante de este gradiente debe estar por encima de la presión máxima que soporta la semilla de piñón antes de romperse. Un estudio hecho por S. Karaj, J. Müller en el 2011 indica que este valor varía dependiendo del tamaño de la semilla, por lo que para la realización de los cálculos tomaremos un valor medio de 7.5 MPa.

Otro término importante, es la densidad aparente, denotada como μ_{app} , la cual se la puede resolver mediante la siguiente formula según el libro Introducción a la ingeniería en alimentos: (Heldman, 2008)

$$\mu_{app} = m \cdot \gamma_{app}^{(F_n - 1)} \quad \text{Ec.10}$$

Los coeficientes m y F_n son datos que se los detallan en la sección Apéndice B como los parámetros K_0 y n respectivamente. (Heldman, 2008)
La razón de corte según el libro introducción a la ingeniería en alimentos se la denota como: (Heldman, 2008)

$$\gamma_{app} = \frac{\pi \cdot N \cdot D_t}{H_t} \quad \text{Ec.11}$$

Siendo N la velocidad de rotación del tornillo en radianes por segundo, el cual está dado por el motorreductor.

El coeficiente para gradiente de presión α según el libro introducción a la ingeniería en alimentos está dado por la siguiente ecuación: (Heldman, 2008)

$$\alpha = 0,5 \cdot \pi^2 \cdot D_t^2 \cdot N \cdot 1000000 \quad \text{Ec.12}$$

De igual forma el coeficiente para gradiente de presión α según estudio realizado por la ESPE está dado por la siguiente ecuación: (Heldman, 2008)

$$\beta = \pi \cdot \frac{D_t}{12} \cdot 1000 \quad \text{Ec.13}$$

Otro aspecto importante es el caudal de producción, definido como Q. Este dato lo obtenemos de la cantidad de muestras tomadas al día para la extracción de aceite, dividido para las horas de trabajo del laboratorio.

A partir de la información brindada por el INIAP, se establece que utilizan una media de 5 Kg diarios en el laboratorio, para la extracción de aceite, durante un aproximado de 5 horas laborables de la extrusora en el día, lo que nos da un caudal de 1Kg/h

La densidad del aceite de la semilla de piñón es de 911 Kg/m³. (Ing. Gustavo Aveiga, Obtención de parámetros de diseño para unidad experimental de producción de biodiesel a partir de aceite refinado de semillas de Jatropha Curcas, 2017) Esta densidad dividirá al caudal Q para hallar Q_1 en mm³/seg en y así ingresar el dato a la fórmula de gradiente de presión mencionada anteriormente. (Heldman, 2008)

$$Q_1 = \frac{Q \cdot 10^9}{3600 \cdot 850} \quad \text{Ec.14}$$

La longitud del tornillo L es otro dato asumido, que variara con el fin de encontrar la presión necesaria.

La presión necesaria para poder extraer en su totalidad el aceite de 1 kg de semilla es de 7.5 MPa, por lo que para éste estudio se variaran los datos detallados anteriormente como asumidos para encontrar una presión mayor a la necesaria. (Mata Rodríguez & Rodríguez González, 2011)

En la sección de dosificación, justo al final del extrusor, se producida una contrapresión que reducirá el flujo para que se produzca una plastificación apropiada del producto. El gradiente de presión o presión de trabajo desde la zona de alimentación hasta el final del tornillo, no debe exceder ni igualar a esta contrapresión, ya que al igualarla se producirá un trabamiento del producto, es decir que el producto no fluirá a través del dado. Esta contrapresión se la puede llamar presión máxima, y se la encuentra mediante la siguiente ecuación: (Groover, 2007)

$$P_{\max} = \frac{6 \cdot \pi \cdot D_t \cdot N \cdot \frac{L}{1000} \cdot \mu_{\text{app}} \cdot \frac{1}{\tan(\theta_t)}}{H_t^2} \quad \text{Ec.15}$$

El caudal máximo posible que generará el expeller, se lo encuentra mediante la siguiente ecuación: (Groover, 2007)

$$Q_{\max} = 0,5 \cdot \pi^2 \cdot D_t^2 \cdot N_{\text{rev}} \cdot H_t \cdot \sin(\theta_t) \cdot \cos(\theta_t) \quad \text{Ec.16}$$

Donde Nrev es la velocidad de rotación del tornillo en revoluciones por segundo.

2.4.4.1 Comportamiento del fluido a través del dado

Los dos valores Qmax y Pmax son dos puntos a lo largo de los ejes del diagrama conocido como características del extrusor, tal como se muestra en la siguiente imagen:

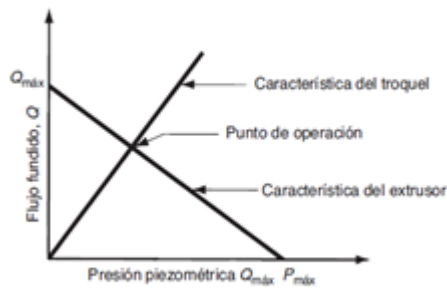


Figura 2.8 Geometría interna de un Expeller.

Fuente: (Groover, 2007)

En la gráfica se define una relación entre la presión piezométrica y el caudal de extrusión. Donde la línea con pendiente negativa representa una característica del extrusor y la otra representa una característica del dado o troquel. Es importante mencionar que el punto de intersección de ambas rectas corresponde el punto de operación del extrusor (Groover, 2007)

El caudal del dado o troquel dependerá del tamaño y forma de la abertura del dado, expresado en su factor de forma K_s y de la presión que se aplique para forzar el fundido a pasar por la abertura, es decir la presión de operación del dado. Se lo expresa de la siguiente manera: (Serope Kalpakjian, 2002)

$$Q_x = K_s \cdot P_e \quad \text{Ec.17}$$

Para una abertura circular en el dado, el factor de forma se calcula de la siguiente manera: (Serope Kalpakjian, 2002)

$$K_s = \frac{\pi \cdot D_d^4}{128 \cdot \mu_d \cdot L_d} \quad \text{Ec.18}$$

D_d es el Diámetro del dado, L_d es la longitud de abertura del dado y μ_d es la viscosidad de fusión que por lo general es de 3 a 6 veces la viscosidad en la extrusión.

La presión de operación del dado, se lo puede relacionar con los datos de la gráfica Q_{max} y P_{max} , mediante la siguiente ecuación: (Serope Kalpakjian, 2002)

$$P_e = \frac{Q_{\max}}{K_s + \frac{Q_{\max}}{P_{\max}}} \quad \text{Ec.19}$$

De la misma manera se puede relacionar el Q_x , teniendo la siguiente ecuación: (Serope Kalpakjian, 2002)

$$Q_x = Q_{\max} - \frac{Q_{\max}}{P_{\max}} \cdot P_e \quad \text{Ec.20}$$

2.4.5 Diseño estático de la flecha

La flecha está conformada por dos secciones, la parte del tornillo y el eje continuo que empotrará en la abertura de los rodamientos del motorreductor. Para este análisis es necesario obtener el Diagrama de Cuerpo Libre de la flecha, ubicando los puntos en donde tendremos reacciones; ubicadas en los rodamientos, además de las fuerzas generadas por el peso de cada una de las secciones.

El DCL quedaría de la siguiente manera:

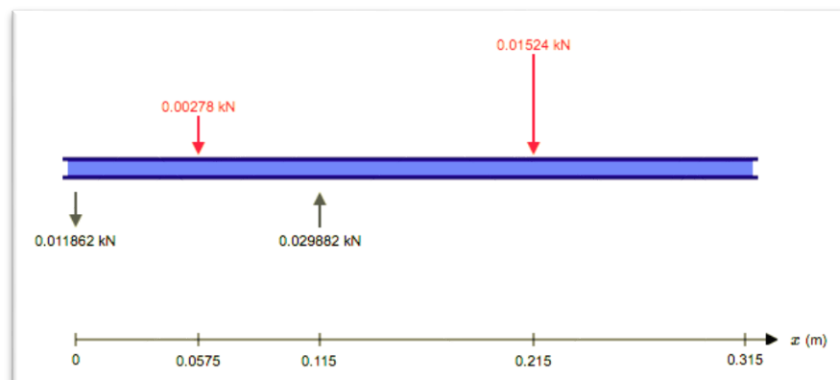


Figura 2.9 DCL de la flecha

Fuente: Elaboración propia

Ya con esto, se encuentra los diagramas cortante y de momento flector, indicados a continuación:

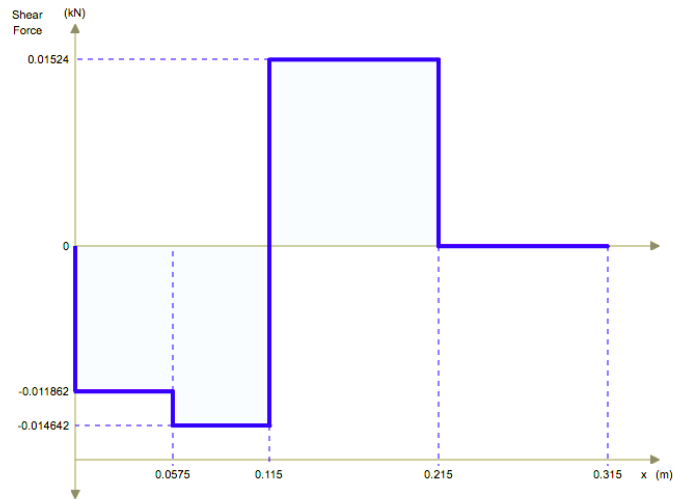


Figura 2.10 Diagrama cortante de la flecha

Fuente: Elaboración propia

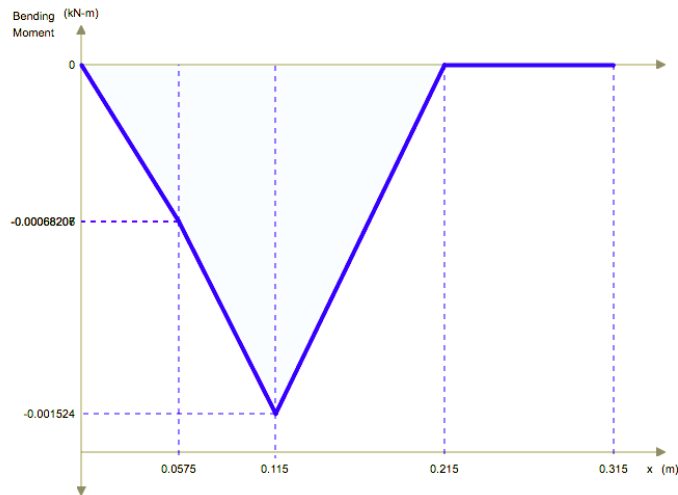


Figura 2.11 Diagrama cortante de la flecha

Fuente: Elaboración propia

El momento flector máximo que soporta la flecha es 1.5224 Nm.

Seguido de esto, encontramos el esfuerzo flector máximo, mediante la siguiente ecuación según Norton: (Norton, 2011)

$$\sigma_{bt} = \frac{32 * M_{max}}{\pi * D^3} \quad \text{Ec.21}$$

El esfuerzo de compresión máximo es otro dato importante el cual será igual al negativo de la presión de trabajo del tornillo: (Norton, 2011)

Ec.22

$$\sigma_{ct} = -P$$

Con esto hallamos el esfuerzo normal máximo, el cual será igual a la suma de los dos últimos esfuerzos mencionados: (Norton, 2011)

Ec.23

$$\sigma_{max} = \sigma_{bt} + \sigma_{ct}$$

Otro dato importante es el torque que se producirá en el eje, para el cual es necesario la potencia real del motor denominada como P_t , además de la eficiencia del motor o factor de servicio. (Norton, 2011)

Ec.24

$$T = \frac{E*FSg}{N}$$

Donde N es la velocidad angular del eje.

Encontramos el esfuerzo cortante máximo el cual se lo halla de la siguiente manera: (Norton, 2011)

Ec.25

$$\tau_{max} = \frac{16*T}{\pi*D^3}$$

Una vez hallados el esfuerzo normal máximo y el esfuerzo cortante máximo, se utiliza el criterio de von mises para encontrar el esfuerzo equivalente, mediante la siguiente manera: (Norton, 2011)

Ec.26

$$\sigma_{eqt} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3 * \tau_{max}^2}$$

Encontramos el factor de seguridad de la siguiente manera: (Norton, 2011)

Ec.27

$$FS_{et} = \frac{S_{yt}}{\sigma_{eqt}}$$

2.4.6 Diseño dinámico de la flecha

Considerando los criterios establecidos en la tesis titulada "Diseño y construcción de una máquina tipo Expeller para la extracción de aceite vegetal a partir de la semilla de la *Jatropha curcas* con capacidad de 200

kilogramos/hora para la E.S.P.E - IASA II". Se determina que no es necesario realizar un estudio dinámico a razón que las fallas por fatiga se consideran causadas por esfuerzos a tensión, los esfuerzos alternantes que sean siempre a compresión no causarán crecimiento de grietas.

La falla por fatiga se produce debido a los esfuerzos fluctuantes que varían con el tiempo, estas alteraciones producen grietas en el material hasta llegar a una fractura súbita causada por el crecimiento inestable de estas. (Gómez Vargas & Villegas Zapater, 2011)

En el caso de la flecha del expeller, esta se encuentra a compresión pura, debido a que el tornillo actúa a manera de bomba dentro de las camisas, por lo cual está sometido a presión continua alrededor de toda su superficie. La presión interna en el expeller es muy superior a los esfuerzos producidos por la flexión que tiene la flecha por su propio peso. (Hall, Holowenko, & Laughlin, 1971)

2.4.7 Diseño de la camisa

Para este análisis asumiremos que la presión interna de la camisa será la presión de trabajo del extrusor o mencionado anteriormente también como gradiente de presión.

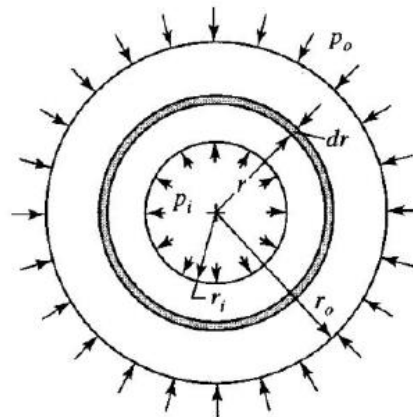


Figura 2.12 Distribución de presión en paredes de un cilindro

Fuente: (Hall, Holowenko, & Laughlin, 1971)

Se considerará a la camisa como un cilindro de pared gruesa, tomando en cuenta que el espesor de la pared del cilindro con el radio interno es menor a 10. (Norton, 2011)

En los cilindros sometidos a presión existirán esfuerzos tanto radiales como tangenciales, además de se debe tomar en cuenta el esfuerzo longitudinal que existirá debido a los apoyos o juntas roscadas que tendrá la camisa en ambos extremos.

Con respecto a la figura anterior, se denominara al radio interior como r_i , el radio exterior como r_o , la presión interna como p_i y la presión externa como p_o .

La presión externa es considerada como la presión atmosférica, por lo que para los cálculos tendrá un valor de cero.

El esfuerzo radial, tangencial y longitudinal se lo encuentra mediante las siguientes formulas. (Budynas, 2012)

$$\sigma_t = \left[\frac{r_i^2 \cdot p_i}{r_o^2 - r_i^2} \right] \cdot \left[1 + \frac{r_o^2}{r_i^2} \right] \quad \text{Ec.28}$$

$$\sigma_r = \left[\frac{r_i^2 \cdot p_i}{r_o^2 - r_i^2} \right] \cdot \left[1 - \frac{r_o^2}{r_i^2} \right] \quad \text{Ec.29}$$

$$\sigma_l = \frac{p_i \cdot r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad \text{Ec.30}$$

En base a que el flujo en el interior del barril es constante, no es necesario el análisis a fatiga por lo que se calculará el factor de seguridad utilizando la teoría de distorsión máxima o teoría de Von mises. (Budynas, 2012)

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_l^2 + \sigma_r^2 - \sigma_t \cdot \sigma_r - \sigma_l \cdot \sigma_r - \sigma_l \cdot \sigma_t} \quad \text{Ec.31}$$

A partir del resultado obtenido en la ec.31, calculamos el factor de seguridad de la siguiente manera: (Budynas, 2012)

$$FS_c = \frac{S_{y,c}}{\sigma_v} \quad \text{Ec.32}$$

2.4.8 Diseño de la del dado

De igual manera se considera al dado como cilindro de pared gruesa, debido a la relación entre su espesor y el radio interno, el cual se denota de la siguiente manera:

$$c = \frac{r_{int}}{\text{espesord}} \quad \text{Ec.33}$$

La relación, dará un valor menor a 10 por lo que se lo considera de pared gruesa. De manera que se utilizará las mismas ecuaciones para el diseño de la camisa. (Norton, 2011)

CAPÍTULO 3

3 Resultados

3.1 Tabulación de resultados

Una vez realizado los cálculos, se presenta los resultados en el siguiente capítulo.

En la tabla 3.1 se presentan los parámetros geométricos del tornillo, los cuales fueron modificando su valor con el fin de obtener la presión adecuada.

Tabla 3.1 Parámetros geométricos del tornillo

Símbolo	Variable	Valor	Unidad
Dt	Diámetro del tornillo	36	mm
Hd	Holgura de la camisa-tornillo	0,5	mm
Ht	altura del hilo del tornillo	7	mm
bt	Ancho del hilo del tornillo	3	mm
Pt	Paso del tornillo	15	mm
Lt	Longitud del tornillo	200	mm
Lt/Dt	Relación L/D (corte bajo)	5,56	
Wt	Ancho del canal del tornillo	12	mm
Rm	Radio medio del tornillo	15	mm
Ot	Ángulo de hélice del tornillo	8	grados

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte en la tabla 3.2 se muestran los de la velocidad del tornillo, los cuales están dados por la velocidad del motorreductor detallado en el capítulo 2.

Tabla 3.2 Parámetros de velocidad del tornillo

Símbolo	Variable	Valor	Unidad
R	Flujo másico requerido en libras	5	Lb/h
Dtp	diámetro del tornillo en pulgadas	1,42	plg
Htp	Altura del hilo en pulgadas	0,28	plg
Gjp	Gravedad específica de la <i>Jatropha curcas</i>	0,911	
N	Velocidad de rotación del tornillo	27	Rpm

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis del comportamiento del fluido dentro del expeller, se detallan los siguientes resultados en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Parámetros de comportamiento del fluido en el expeller

Símbolo	Variable	Valor	Unidad
Q	Caudal volumétrico calculado	12	Kg/h
Yapp	Razón de corte	243	1/s
m	Índice de flujo	671	
n	Índice de flujo	0,75	
μ_{app}	Viscosidad aparente newtoniana	243	Pa.s
α	Coeficiente para gradiente de presión	2,3 E+4	mm ² /s
β	Coeficiente para gradiente de presión	9.425	mm
ΔP	Gradiente de presión en la extrusión	14.5	MPa
Pmax	Presión máxima de extrusión	14.7	MPa

Fuente: Elaboración propia

Se empleó el Acero AISI 4340 o también llamado comercialmente A 705 como material para el diseño y construcción del tornillo debido a su alta resistencia a la fluencia. Por lo que al realizar los cálculos estipulados en el capítulo dos, acerca del diseño del tornillo y de la flecha, se lo detalla en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Parámetros de diseño del tornillo

Tornillo		Material: Acero A705	
Símbolo	Variable	Valor	Unidad
S_{yt}	Resistencia a la fluencia	900 Mpa	
Diseño de los hilos del tornillo			
Wx	Fuerza axial sobre el hilo	9.3	KN
Nh	No. Hilos del tornillo sometidos a carga	1	
Sb	Esfuerzo de flexión en la base del hilo	42	MPa
Ss	Esfuerzo cortante transversal medio en el hilo	18	MPa
σ_{eqn}	Esfuerzo equivalente en el hilo	52	MPa
f_{sh}	Factor de seguridad en el hilo	3	
Diseño estático de la flecha			
Mmax	momento flector máximo	20	N.m
σ_{bt}	Esfuerzo flector máximo	0,58	MPa
σ_{ct}	Esfuerzo de compresión	23	MPa
f_{se}	Esfuerzo normal máximo	24	MPa
T	Factor de servicio del motor	0,9	
τ	Torque en la flecha	761	N.m
Dcr	diámetro crítico en la flecha	70	mm
Tmaxt	Esfuerzo cortante máximo	11.40	MPa
σ_{eqt}	Esfuerzo equivalente	30.60	MPa
Fset	Factor de seguridad estático	11.09	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del diseño de la camisa, se los tabuló en la tabla 3.5. Para el cual seleccionamos el material Acero 1018 o Acero de transmisión.

Tabla 3.5 Parámetros de diseño de la camisa

Camisas		Material: Acero 1080	
SYc	Resistencia a la fluencia	340 MPa	
Símbolo	Variable	Valor	Unidad
ec	Espesor de la camisa	12	mm
Ric	Radio interno de la camisa	36	mm
Ric/ec	Relación r/e (pared gruesa)	2,4	
Pi	Presión interna en la camisa	7.5	MPa
σ_t	Esfuerzo tangencial	56	MPa
σ_r	Esfuerzo radial	23	MPa
σ_l	Esfuerzo longitudinal	17	MPa
σ'	Esfuerzo equivalente	69	MPa
FSc	Factor de seguridad	6,6	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del diseño del troquel o dado se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Parámetros de diseño del dado

Dado		Material: Acero A 705	
SYc	Resistencia a la fluencia	900 MPa	
Símbolo	Variable	Valor	Unidad
ed	Espesor del dado	20	mm
Rintd	Radio interno del dado	18	mm
Pint	Presión interna en el dado	23	MPa
σ_{td}	Esfuerzo tangencial	53	MPa
σ_{rd}	Esfuerzo radial	23	MPa
σ_{lr}	Esfuerzo longitudinal	15	MPa
σ'_{cr}	Esfuerzo equivalente en sección crítica	70	MPa
FSd	Factor de seguridad en sección crítica	4	MPa

Fuente: Elaboración propia

3.2 Simulaciones

Teniendo en cuenta de que la presión necesaria de trabajo del expeller es de 14 MPa, la simulación tanto de la camisa, del tornillo y del dado se la realizó a 20 MPa.

El mallado empleado para las simulaciones del tornillo y del dado fue del tipo cuadrado estándar con un tamaño de malla de 2.26 mm.

Para el mallado de la camisa se utilizó un mallado hexagonal con una sección mayor de 1.35 mm, para poder analizar hasta los orificios de la rejilla de expulsión de aceite, ya que las perforaciones tienen un diámetro de 1.5 mm. En el tornillo tendremos una presión de trabajo de 14 MPa, se realizó la simulación con una presión de 20 MPa, dando un coeficiente de seguridad poco mayor a 2, lo que nos indica que el tornillo estará diseñado para soportar más presiones, es decir para semillas que necesiten una mayor fuerza para aplastarlas.

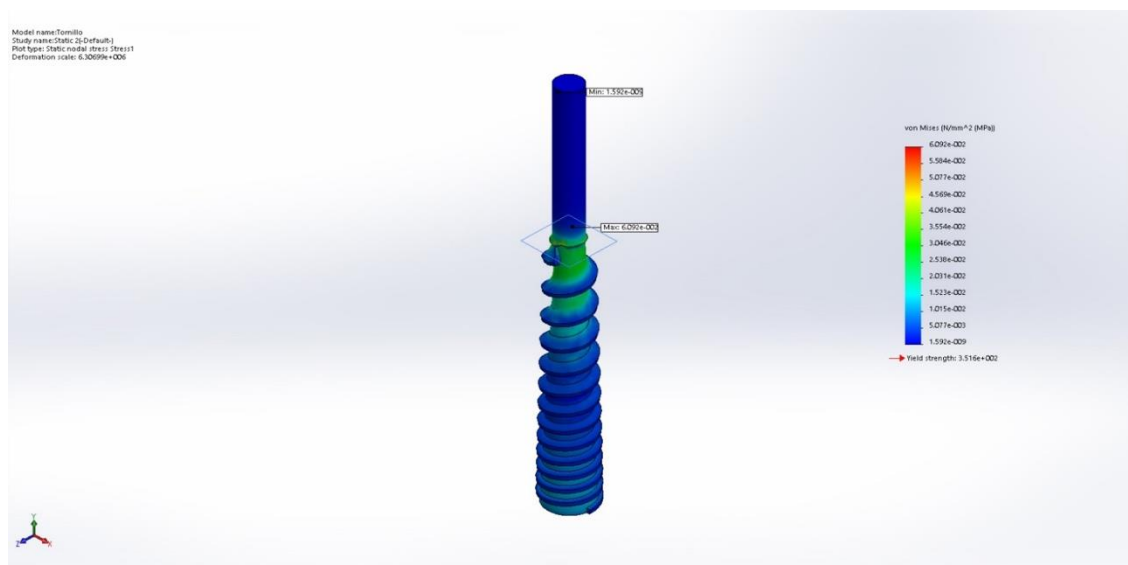


Figura 3.1 Representación de esfuerzos por colores en el tornillo

Fuente: Autodesk Inventor 2016

La camisa de igual manera se realizó la simulación teniendo en cuenta la salida de aceite, que sería nuestro punto crítico.

Al final tuvimos una deformación muy por debajo de 1 milímetro y un coeficiente de seguridad mayor a 10.

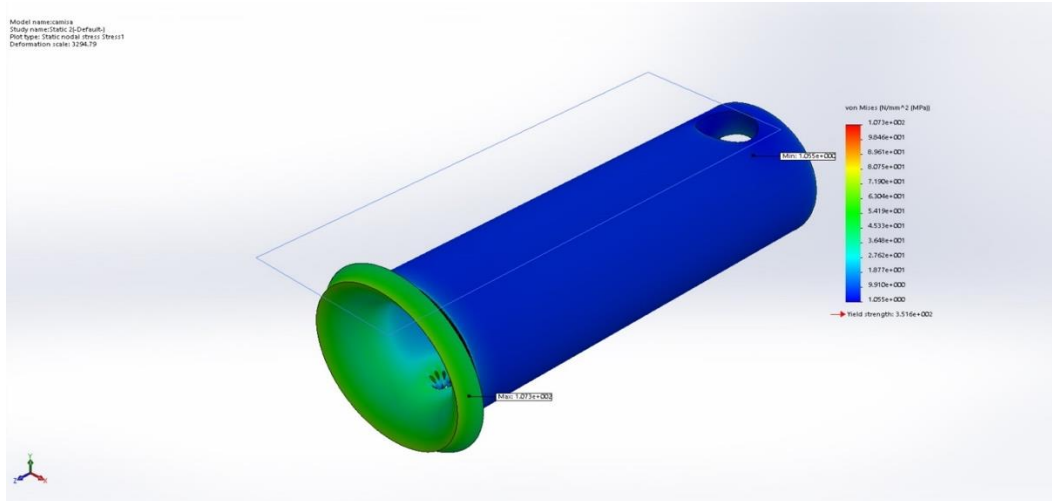


Figura 3.2 Representación de esfuerzos por colores en la camisa

Fuente: Autodesk Inventor 2016

Los parámetros utilizados para la simulación del dado fueron la presión generada en la cara interior del dado donde se concentrará el material aplastado y se producirá una presión.

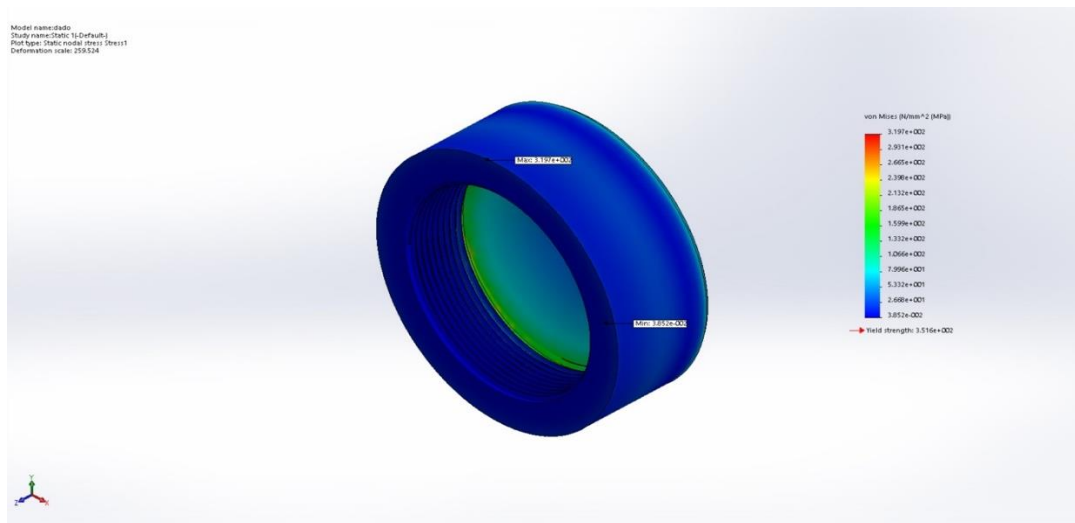


Figura 3.3 Representación de esfuerzos por colores en el dado

Fuente: Autodesk Inventor 2016

3.3 Pruebas de Prototipo

Se realizó distintas pruebas al sistema construido. A medida que se realizaban las pruebas de fueron encontrando problemas. Inicialmente se fabricó el tornillo en un torno convencional, con las mismas especificaciones del diseño.



Figura 3.4 Tornillo sin fin

Fuente: Elaboración propia

Al dado se le realizó un moleteado en la superficie externa, para un fácil apriete y afloje en la camisa, la cual se la fabricó con una sola sección.



Figura 3.5 Estructura completa

Fuente: Elaboración propia

La primera prueba se la realizo en un taladro de pedestal, debido a que inicialmente no se encontraba la manera de sujetar la camisa en el torno. En el taladro de pedestal se sujetó la camisa con una prensa y se hizo gira el tornillo a 27 revoluciones por minuto.



Figura 3.6 Ensayos en taladro de pedestal

Fuente: Elaboración propia

Se presentó el problema de que el material se estancaba en los hilos del tornillo y no avanzaba a la sección final para salir por el dado.

Se realizó cambios en la pared interna de la camisa, para poder dar más rugosidad y generar una fricción que haga avanzar al material hasta la sección final del tornillo. Se le hizo un hilo interno con paso de 3 mm y con una profundidad de 0.4 mm



Figura 3.7 Pared interna de camisa modificada

Fuente: Elaboración propia

Además de eso, se aumentó 1 milímetro el diámetro del dado, para lograr que el material aplastado por el tornillo, salga con mayor facilidad por el dado.

Con estos cambios, se realizó una segunda prueba en un torno a velocidad de giro de 25 Rpm anti horario, donde se obtuvo resultados positivos, arrojando gran cantidad de aceite de un aproximado de 20 gramos de semilla.



Figura 3.8 Aceite extraído de las semillas

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.9 Formación de la torta al interior del dado

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4 Discusión de resultados

La construcción del extractor de prensa tipo expeller el cual va direccionado para el análisis científico y estadístico del INIAP es muy importante para el estudio de la materia prima (semilla de Piñón), el cual les permitirá la medición anticipada y proyectada de aceite en un lote de semillas.

Las fortalezas encontradas en la maquina expeller diferenciada a los otros sistemas de extracción de aceite son muy puntuales en cuestión de facilidad de operación y mantenimiento, bajo consumo energético, porcentaje de extracción de aceite y capacidad de producción.

Las debilidades que posee el extractor de aceite es el bajo volumen de extracción debido a que el equipo está diseñado para trabajo en laboratorio donde se extraen pequeñas muestras de aceite.

En el capítulo 3, se analizó las tablas que proporcionan los resultados de resistencia a los esfuerzos los cuales el tornillo, la camisa y el dado del sistema están sometidos.

Este proyecto es desarrollado por la necesidad que tiene el INIAP de optimizar la extracción de aceite su máquina extrusora de semilla. Dentro de este marco se revisó las fallas encontradas en dicho diseño con la finalidad de mejorar la cantidad de aceite extraído diariamente. Se desarrolló un diseño de un tornillo sin fin con diámetro variable, el cual nos va a generar una mayor compresión, que es directamente comparable con la eficiencia de extracción de aceite, cabe mencionar que el tornillo sin fin de diámetro y paso variable es el más sencillo de realizar, además de que al aplicarle diámetro interno variable el porcentaje de extracción va a mejorar.

4.1 Conclusiones

- Se realizó un análisis para seleccionar el sistema de extracción que mejor producción y eficiencia nos genere; nuestro diseño fue una prensa tipo expeller que esto compuesto por un tornillo sin fin de diámetro variable el cual transporta el material de forma lineal alimentando de forma constante al

sistema el cual va disminuyendo la altura del diente y aumentando la presión a la semillas, una camisa de diámetros constante el cual delimita el espacio físico por donde fluye el material sirviendo también como aporte para generar una presión a la semilla con el tornillo sin fin antes mencionado, el dado que sirve para dosificar el material al final de la extrusora , es el elemento principal por donde fluirá el material extruido o también llamado torta, la cual sale con un mínimo porcentaje de aceite.

- Para diseñar el helicoidal del tornillo sin fin al cual se utilizó un análisis como una viga en voladizo que tiene una fuerza distribuida a lo largo de su cara donde el resultado de los esfuerzos calculados en conjunto con la resistencia del material seleccionado nos da un coeficiente de seguridad mayor a tres, además le realizamos una simulación suponiendo esfuerzos mayores, y las dimensiones propuestas resistían el esfuerzo, dándonos un coeficiente de seguridad cercano a 3.
- En cuanto a la selección de materiales, analizamos varios aspectos como la finalidad del aceite y el material existente en el mercado. Sabiendo que el aceite no es para uso alimenticio, sino para biocombustible nos evitamos de utilizar un acero con alto contenido de cromo que hubiera aumentado el costo del equipo. Para la camisa utilizamos un eje perforado de material acero de transmisión ya que es el más comercial en el mercado. Para el tornillo sin fin y el dado utilizamos el acero AISI 4340 ya que sus propiedades físicas nos garantizan una vida útil considerable.
- Obtenidos los cálculos y verificados con la simulación, se desarrollaron los planos estructurales detallados en la sección Anexo.
- Realizamos el plan de manteniendo propuesto en anexos para alargar la vida útil del equipo, evitando el deterioro funcional y estructural.
- Como conclusión final tenemos que se diseñó un sistema de extracción de aceite de piñón , tratando de mantener el prototipo entregado por el INIAP , en donde se realizaron ciertas adecuación para optimizar la cantidad de aceite extraído, las adecuaciones que realizamos fueron diseñar y construir un tornillo sin fin con diámetro variable el cual aumento el porcentaje de aceite extraído por cantidad de semillas , en la camisa a diferencia del prototipo del INIAP se diseñó y construyó de una sola sección tratando de

generar una superficie rugosa en el diámetro interno de la camisa, para generar una fuerza de fricción al material en el canal del tornillo lo que hizo que el material avance hasta la sección de dosificación para su próxima expulsión a través del dado.

4.2 Recomendaciones

- Evitar pulir la cara interna de la camisa, además generar una rugosidad mayor a la cara de los hilos del tornillo para que la materia procesada no se concentre y se detenga en puntos específicos del tornillo el cual generarían que el material deje de fluir por toda la longitud de la camisa y no salga por el orificio del dado.
- Evitar que existan esquinas o cambios bruscos en la sección interna de la camisa donde va instalada la tolva para que al ingresar el producto en la tolva no tenga ninguna obstrucción, permitiendo que el ingreso de la semilla de piñón al tornillo sea constante.
- La profundidad del tornillo en la sección de alimentación donde se ubica la tolva, debe ser mayor al promedio del grosor de la semilla con la finalidad que la semilla entre al equipo de fácil manera y mantenga un flujo de alimentación constante.
- Realizar un moleteado a la superficie exterior del dado para tener facilidad al momento de ajustar y desajustar el dado, ya que en nuestro diseño el dado es róscale.
- Se recomienda que en la cara interna del dado se evite cambios bruscos en la dirección de la salida del material por el dado, es decir que se debe realizar un chaflán en cada esquina del dado.
- Se recomienda realizar un recubrimiento anti-corrosivo, con la finalidad de aumentar la vida útil del equipo (opcional).

BIBLIOGRAFÍA

- Galarraga Rivera, Y. O. (2015). *Diseño de una prensa de tornillo tipo expeller para la extracción de aceite vegetal virgen de la semilla de maíz, para uso comestible*. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Mecánica, Pereira.
- Budynas, R. G. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Novena ed.).
- Ganadería, M. d. (24 de 04 de 2000). *Dirección Nacional de Comunicación - INIAP*. Obtenido de <http://www.agricultura.gob.ec/el-pinon-crece-en-zonas-secas-y-su-aceite-se-utiliza-para-biocombustibles-y-para-elaborar-jabones-caseros/>
- Ganadería, M. d. (s.f.). *Dirección Nacional de Comunicación - INIAP*. Obtenido de <http://www.agricultura.gob.ec/el-pinon-crece-en-zonas-secas-y-su-aceite-se-utiliza-para-biocombustibles-y-para-elaborar-jabones-caseros/>
- Gemco Energy. (20 de abril de 2004). *Expeller Press*. Recuperado el 2018, de oil-expeller: <http://www.oil-expellers.com/Product/ZX-105-Oil-Expeller/>
- Gómez Vargas, S. J., & Villegas Zapater, S. (2011). *“Diseño y construcción de una máquina tipo expeller para la extracción de aceite vegetal a partir de la semilla de la jatropha curcas con capacidad de 200 kilogramos/hora para la E.S.P.E - IASA II”*. tesis, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, Sangolquí.
- González M., A. y. (2008). *Biocombustibles, biotecnología y alimentos. Impactos sociales para México Argumentos*. Mexico.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna* (Vol. cuarta). México, México: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE MEXICO.
- Hall, A. S., Holowenko, A. R., & Laughlin, H. G. (1971). *Diseño de Máquinas: Teoría y Problemas Resueltos* (Primera Edición ed.). Mc Graw HILL.
- Heldman, R. P. (2008). *Introduction to Food Engineering*. Estados Unidos: Academic Press.
- Ing. Gustavo Aveiga, I. F. (2017). *Obtención de parámetros de diseño para unidad experimental de producción de biodiesel a partir de aceite refinado de semillas de Jatropha Curcas*. Guayaquil: ESPOL.
- Ing. Gustavo Aveiga, I. F. (2017). *Obtención de parámetros de diseño para unidad experimental de producción de biodiesel a partir de aceite refinado de semillas de Jatropha Curcas*. Guayaquil: ESPOL.
- Mata Rodríguez, I. S., & Rodríguez González, J. C. (2011). *Diseño de máquina extractora de aceite de semilla de tempate*. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, El Salvador.

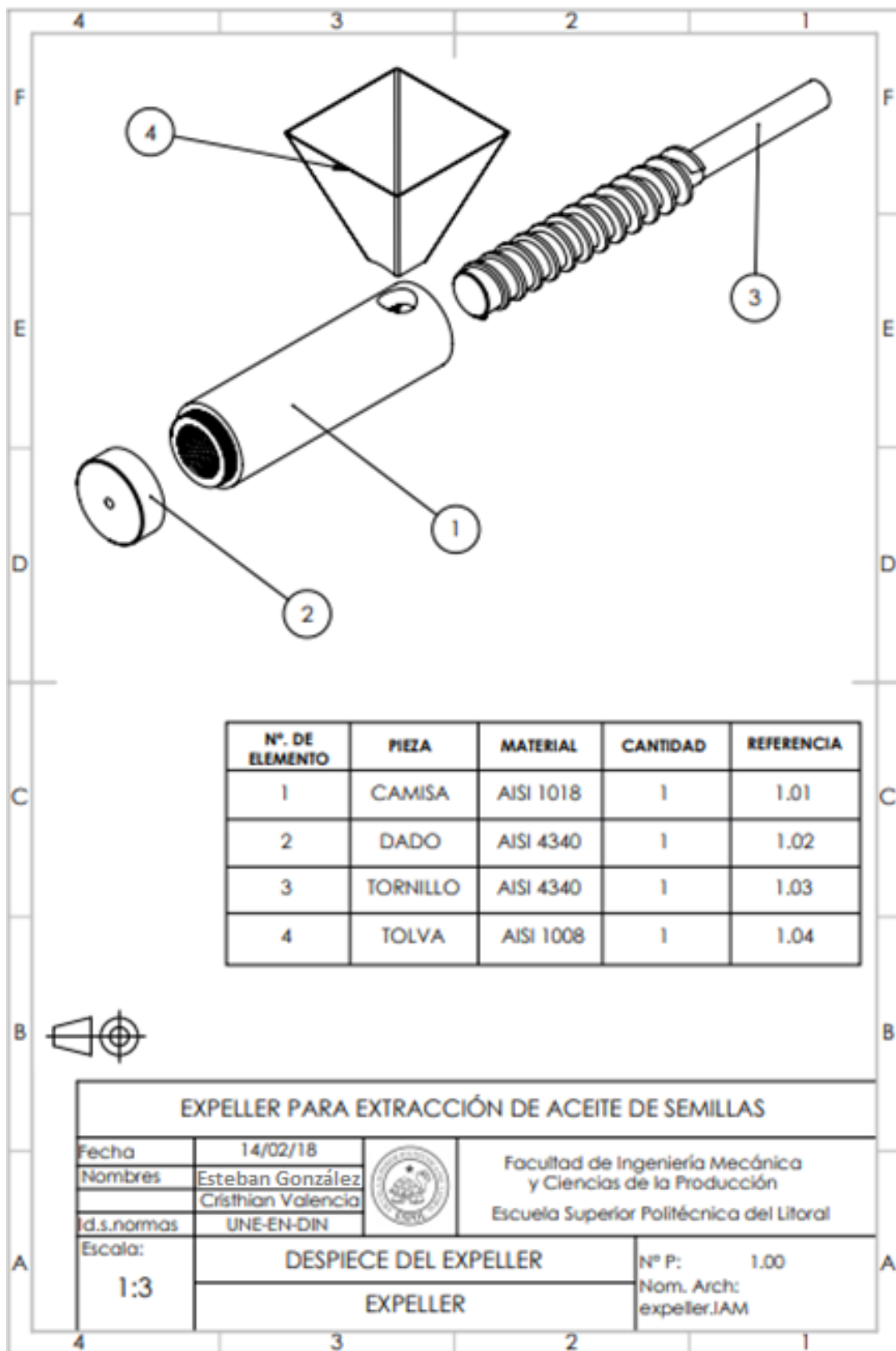
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas* (Cuarta ed.). (E. Pearson, Ed.)
- Núñez, M. Y. (2009). *Estudio descriptivo del comportamiento del piñon.* Zamorano: Zamorano.
- Putter, E. V. (2010). The jatropha handbook: From cultivation to application. En E. V. Putter, *The jatropha handbook: From cultivation to application.*
- Serope Kalpakjian, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología* (Quinta ed.). (P. Educación, Ed.)
- Tambunan, A. ,. (2012). Yield and physicochemical properties of mechanically extracted crude Jatrophas Curcas L oil. Biomass and bioenergy. En A. ,. Tambunan, *Yield and physicochemical properties of mechanically extracted crude Jatrophas Curcas L oil. Biomass and bioenergy.*
- Tecnología,V.H.(30-de-07del-2016).MECANISMOS
<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/mecanismos-transmission.pdf>.ObtenidodeMECANISMOS:
<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/mecanismos-transmission.pdf>

APÉNDICES

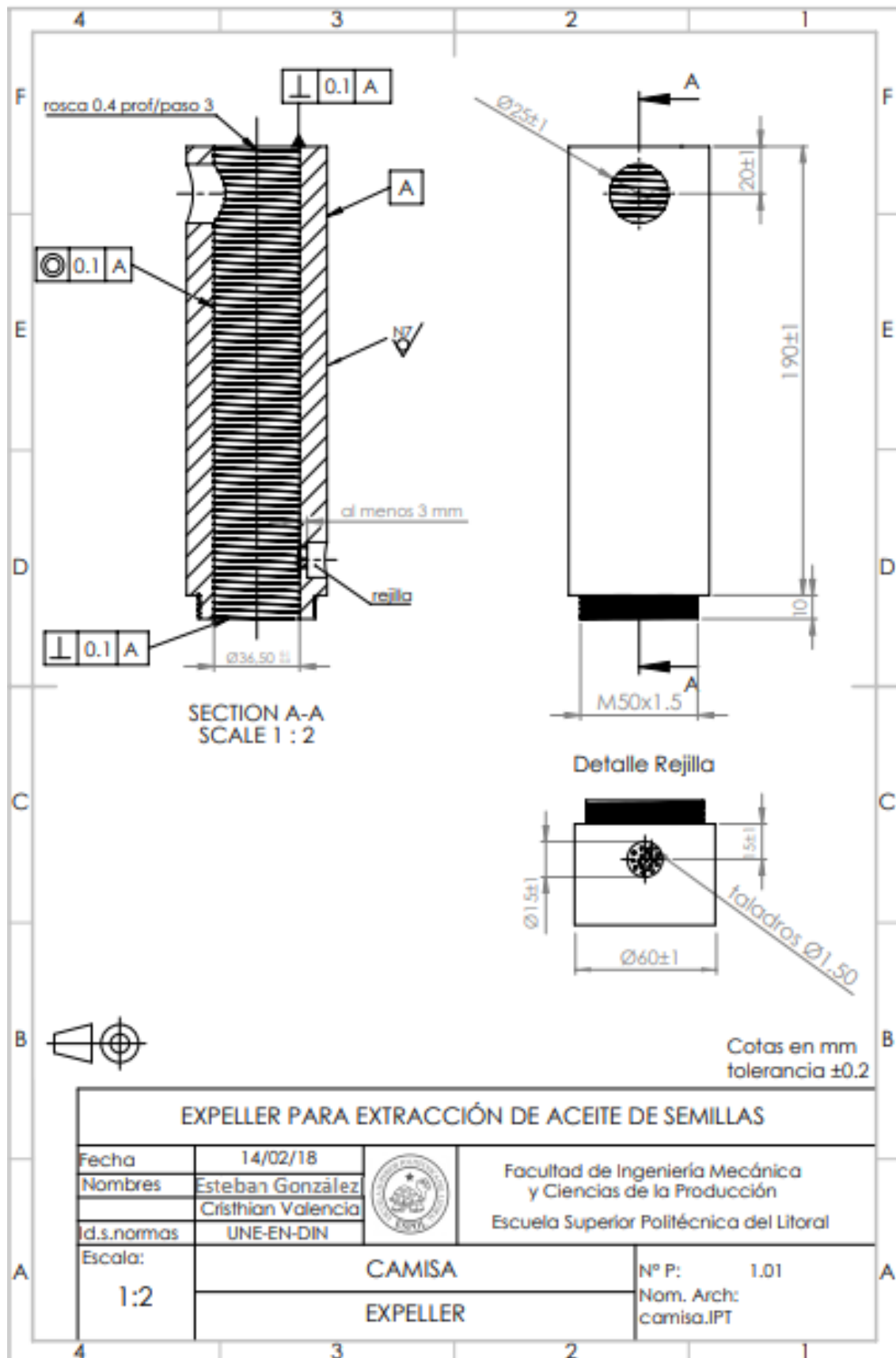
APÉNDICE A

Planos Esquemáticos

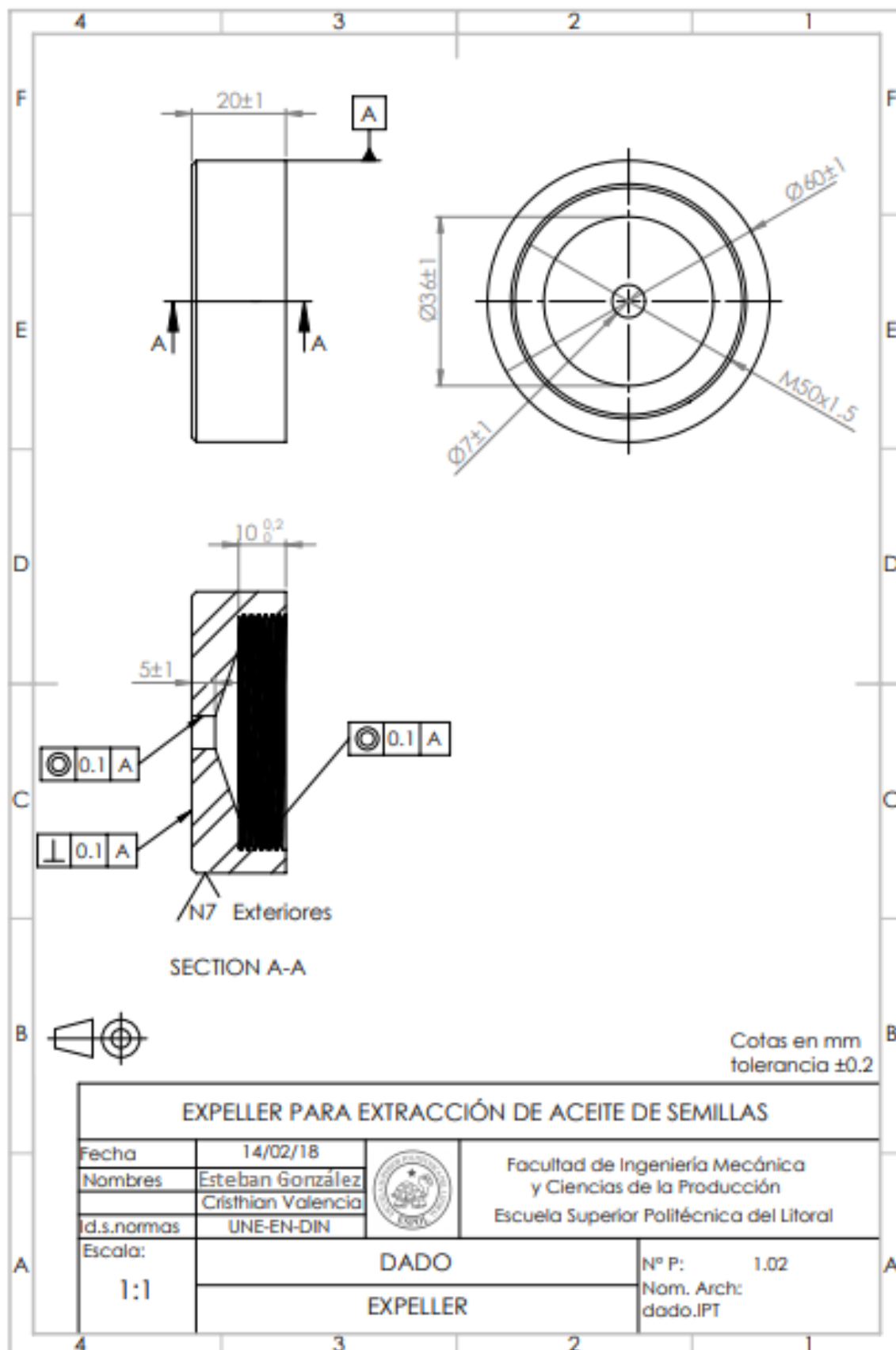
Planos 1. Despiece de Expeller



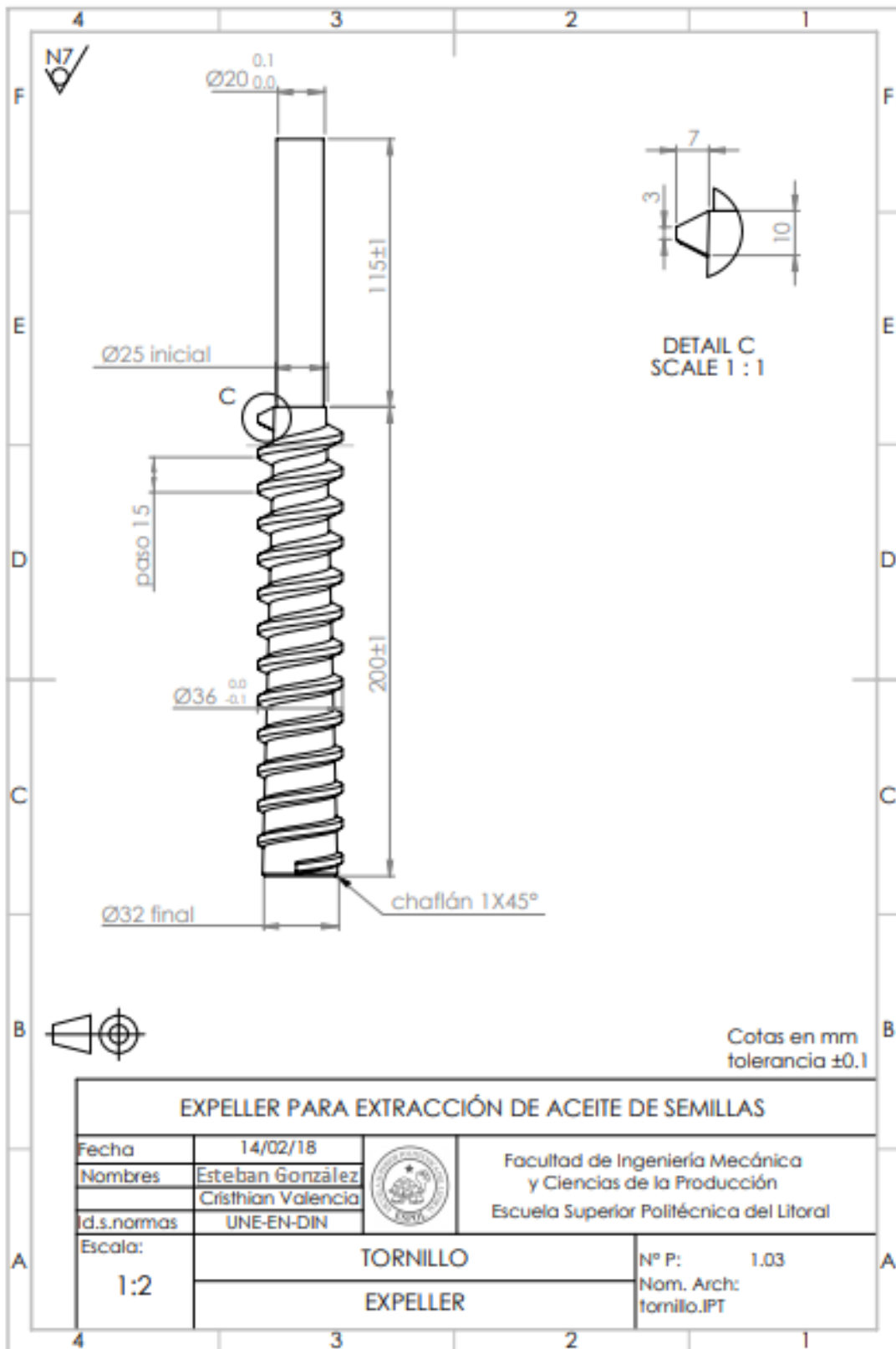
Planos 2. Camisa



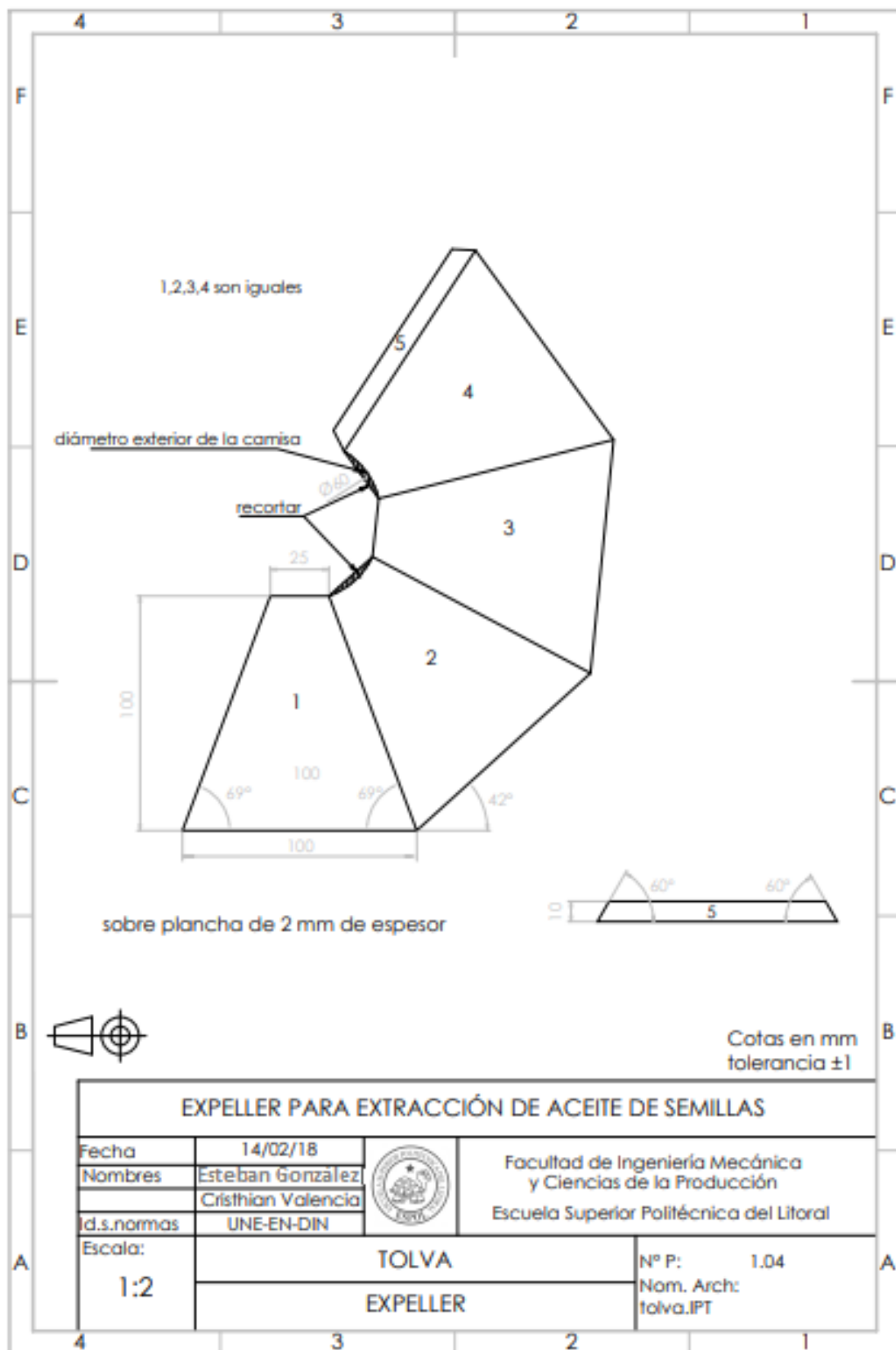
Planos 3. Dado



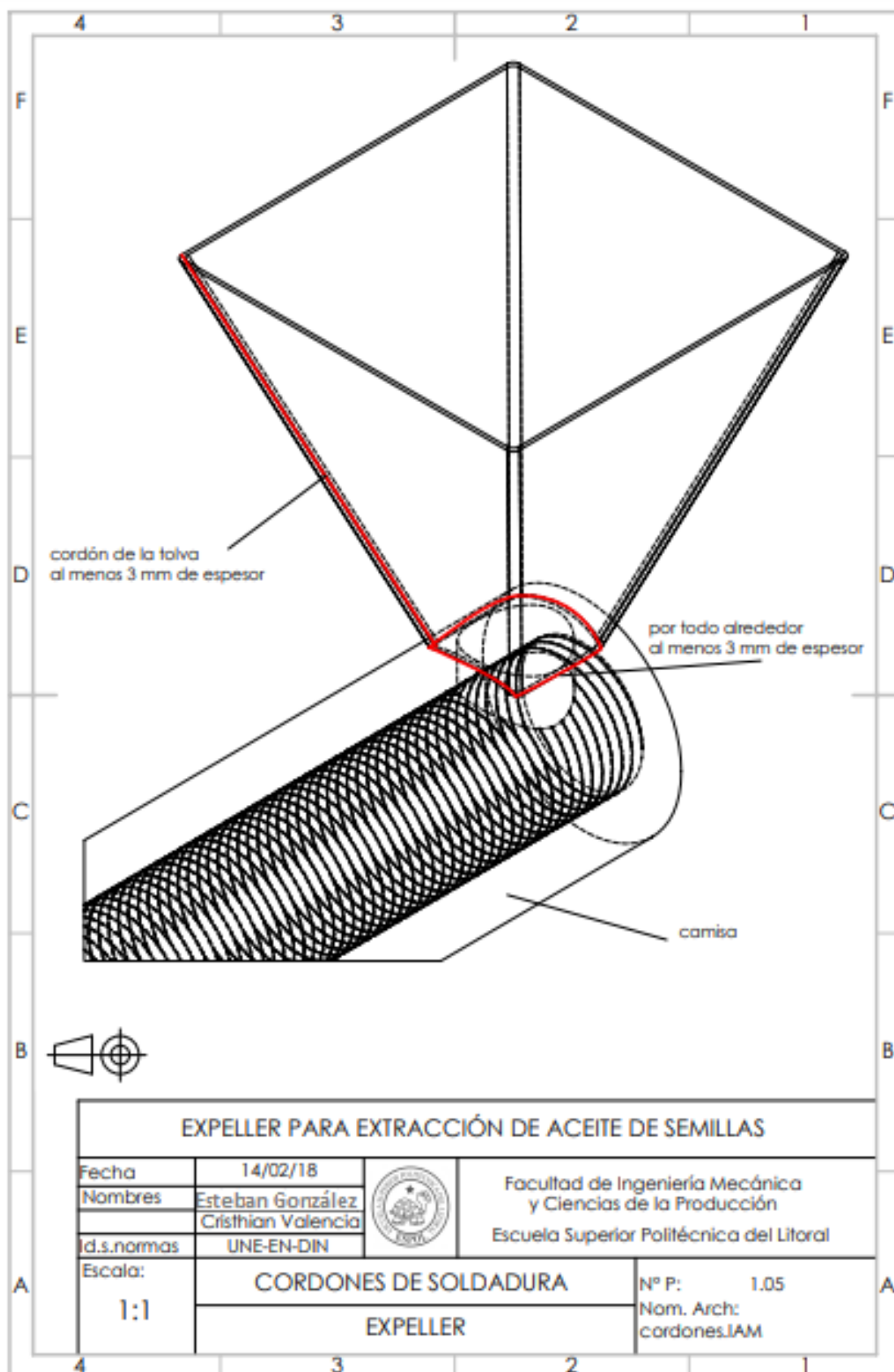
Planos 4. Tornillo



Planos 5. Tolva



Planos 6. Cordones de soldadura



APÉNDICE B

Tablas utilizadas

Tabla modelos de ley de potencia informados para extrusión de alimentos

Material	K_o	n	Temperature range (°C)	Moisture range (%)	A (K)	B (1/%M _{DB})	Reference
Cooked cereal dough (80% corn grits, 20% oat flour)	78.5	0.51	67–100	25–30	2500	–7.9 ^a	Harper et al., 1971
Pregelatinized corn flour	36.0	0.36	90–150	22–35	4390	–14	Cervone and Harper, 1978
Soy grits	0.79	0.34	35–60	32	3670	–	Remsen and Clark, 1978
Hard wheat dough	1885	0.41	35–52	27.5–32.5	1800	–6.8	Levine, 1982
Corn grits	28,000	~0.5	177	13	–	–	van Zuilichem et al., 1974
	17,000	~0.5	193	13	–	–	
	7600	~0.5	207	13	–	–	
Full-fat soybeans	3440	0.3	120	15–30	–	–	Fricke et al., 1977
Moist food products	223	0.78	95	35	–	–	Tsao et al., 1978
Pregelatinized corn flour	17,200	0.34	88	32	–	–	Hermann and Harper, 1974
Sausage emulsion	430	0.21	15	63	–	–	Toledo et al., 1977
Semolina flour	20,000	0.5	45	30	–	–	Nazarov et al., 1971
Defatted soy	110,600	0.05	100	25	–	–	Jao et al., 1978
	15,900	0.40	130	25	–	–	
	671	0.75	160	25	–	–	
	78,400	0.13	100	28	–	–	
	23,100	0.34	130	28	–	–	
	299	0.65	160	28	–	–	
	28,800	0.19	100	35	–	–	
	28,600	0.18	130	35	–	–	
17,800	0.16	160	35	–	–		
Wheat flour	4450	0.35	33	43	–	–	Launay and Bure, 1973
Defatted soy flour	1210	0.49	54	25	–	–	Luxenburg et al., 1985
	868	0.045	54	50	–	–	
	700	0.43	54	75	–	–	
	1580	0.37	54	85	–	–	
	2360	0.31	54	100	–	–	
	2270	0.31	54	110	–	–	

^aWet basis moisture content