



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA LA
EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SÉSAMO (*Sesamum indicum*) Y
NUEZ (*Juglans regia*)”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORAS: JESSICA PAOLA RÍOS LATORRE

DAYANA ESTEFANÍA SALAZAR LUNA

TUTOR: ING. CÉSAR PUENTE

Riobamba-Ecuador

2018

©2018, Jessica Paola Ríos Latorre y Dayana Estefanía Salazar Luna

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación técnico: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SÉSAMO (*Sesamum indicum*) Y NUEZ (*Juglans regia*)”, de responsabilidad de los señores Jessica Paola Ríos Latorre y Dayana Estefanía Salazar Luna, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. César Puente

DIRECTOR DE TRABAJO

DE TITULACIÓN

2018-11-08

Dra. Jenny Moreno Mora

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

2018-11-08

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotras, Jessica Paola Ríos Latorre y Dayana Estefanía Salazar Luna declaramos que el presente Trabajo de Titulación de tipo Proyecto Técnico denominado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SÉSAMO (*Sesamum indicum*) Y NUEZ (*Juglans regia*)” es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que proviene de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 8 de noviembre de 2018

Jessica Paola Ríos Latorre

Cedula de Identidad: 060406514-4

Dayana Estefanía Salazar Luna

Cedula de Identidad: 060431702-3

DEDICATORIA

A mis padres quienes siempre han estado junto a mí en las buenas y sobretodo en las malas, a ustedes que son mi pilar de apoyo y mi ejemplo a seguir; a mis hermanos por la motivación de seguir adelante y estar pendientes de mí, y especialmente a mi hija Jadesita que siempre esperó por mi llegada, y con su sola presencia me ilumina el camino, con su amor sincero e incondicional me mantiene viva y feliz. A mi esposo por todo el amor y la paciencia.

Jessica Ríos

Este trabajo se lo dedico a mis padres ya que han sido ellos mi ejemplo a seguir y sin duda alguna mi apoyo incondicional en mi trayectoria estudiantil, que a pesar de tener buenos y malos momentos siempre creyeron en mí y en que lograría obtener mi título.

Dayana Salazar

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios por permitirme realizar todos mis sueños, a toda mi familia por estar en cada momento del camino, mis padres quienes nunca me dejaron sola, a mis hermanos por todo su apoyo. Un infinito agradecimiento a los Ingenieros Alan García y Diego Salazar que gracias a su conocimiento y su buena voluntad fue posible la culminación del presente proyecto, un placer haberlos conocido. A los docentes de la Facultad en especial al Ing. Cesar Puente y a la Doctora Jenny Moreno, por compartir sus consejos; a la Ing. Mónica Andrade y Dra. Patricia Layedra que siempre estuvieron prestas a brindarnos su ayuda.

Jessica Ríos

Quiero agradecer a Dios por haber iluminado mi camino para llegar hasta aquí, a mis padres, por su apoyo incondicional, por creer en mí, por todas sus enseñanzas que me fueron tan útiles en este largo camino, a mis hermanos porque de una u otra forma siempre me estuvieron a mi lado y confiaron en mí, a mi novio por brindarme su apoyo en los momentos más difíciles, por brindarme seguridad y motivarme siempre a cumplir mis metas. Quiero agradecer también dos personas muy importantes que estuvieron con nosotros en este trayecto Ing. Alan García, Ing. Diego Salazar, muchas gracias de todo corazón por toda su ayuda incondicional y por toda la paciencia que nos tuvieron. Al Ing. Cesar Puente y la Dra. Jenny Moreno Mora por su paciencia tiempo y dedicación, porque fueron una guía fundamental en este proceso; a la Ing. Mónica Andrade y la Dra. Patricia Layedra que estuvieron pendientes de nuestro avance y siempre dispuestas a brindarnos su ayuda.

Dayana Salazar

ABREVIATURAS

A	Entrada de materia prima al extractor
a	Relación de aceleración
B	Salida de aceite
b_t	Ancho del hilo del tornillo
C	Salida de torta
D_t	Diámetro del tornillo
D_{tp}	Diámetro del tornillo en pulgadas
E	Potencia del motor
$E_{m\acute{a}x}$	Potencia máxima del motor
$E_{m\acute{i}n}$	Potencia mínima del motor
g_s	Gravedad específica del sésamo
H_{ct}	Holgura camisa - tornillo
H_t	Altura promedio del hilo del tornillo
H_{tp}	Altura del hilo del tornillo en pulgadas
k_s	Factor de forma del dado
L_d	Longitud del dado
L_t	Longitud del tornillo
m	Índice de flujo
N	Velocidad de rotación del tornillo
n	Índice de flujo ninguna
P	Presión de extrusión
P_e	Presión estática en el dado
$P_{m\acute{a}x}$	Presión máxima de extrusión
pt	Paso del tornillo
Q_p	Calor liberado
Q	Caudal volumétrico
Q_1	Caudal volumétrico deseado
Q_d	Flujo de arrastre
Q_p	Flujo de presión
Q_x	Velocidad de flujo (Caudal de Operación)
R	Flujo másico requerido en libras
r_m	Radio medio del tornillo
x_{AA}	Fracción de aceite en la semilla
x_{AB}	Fracción de sólidos contenidos en la materia prima
x_{BA}	Fracción de aceite de la salida B

x_{BB}	Fracción de sólidos de la salida B
x_{CA}	Fracción de aceite de la salida C
x_{CB}	Fracción de sólidos de la salida C
W_t	Ancho del canal del tornillo
α	Coefficiente para gradiente de presión
β	Coefficiente para gradiente de presión
γ_{app}	Razón de corte 1/s
ΔP	Gradiente de presión en la extrusión
θ_t	Ángulo de hélice del tornillo
θ_{tr}	Ángulo de hélice del tornillo
μ	Viscosidad del producto
μ_{app}	Viscosidad aparente newtoniana

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1 Identificación del problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Línea base del proyecto.....	2
1.1.1 <i>Antecedentes del Proyecto</i>	2
1.1.2 <i>Importancia del proyecto</i>	3
1.1.3 <i>Marco conceptual</i>	3
1.4 Beneficiarios directos e indirectos	15
1.4.1. <i>Beneficiarios directos</i>	15
1.4.2. <i>Beneficiarios Indirectos</i>	15
CAPÍTULO II	
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	16
2.1 General.....	16
2.2 Específicos.....	16
CAPÍTULO III	
3. ESTUDIO TÉCNICO	17
3.1 Localización del Proyecto	17
3.2 Ingeniería del Proyecto	18
3.2.1 <i>Caracterización de la materia prima</i>	20
3.2.2 <i>Selección del método de extracción del aceite</i>	22
3.2.3 <i>Obtención de las variables de diseño</i>	24
3.2.4 <i>Cálculos del diseño del equipo</i>	25
3.3 Proceso de producción	40
3.3.1 <i>Proceso de extracción de aceite</i>	40
3.3.2 <i>Diagrama del proceso de extracción</i>	41

3.4	Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria.....	41
3.4.1	<i>Instrucciones para el uso del equipo.....</i>	43
3.4.2	<i>Validación del equipo.....</i>	44
3.4.2.1	<i>Balance de materia.....</i>	45
3.4.2.2	<i>Balance de energía.....</i>	47
3.4.2.3	<i>Rendimiento.....</i>	49
3.4.2.4	<i>Tabla de resultados.....</i>	49
3.4.2.5	<i>Caracterización del aceite extruido.....</i>	50
3.4.3	<i>Discusión de resultados.....</i>	52
3.5	Análisis de Costo/ beneficio.....	52
3.6	Cronograma de actividades.....	55
	CONCLUSIONES.....	56
	RECOMENDACIONES.....	58
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Nuez	4
Figura 2-1: Planta de nogal	6
Figura 3-1: Sésamo	6
Figura 4-1: Planta de sésamo	8
Figura 5-1: Molino	11
Figura 6-1: Prensa para obtención de aceite	12
Figura 7-1: Maquina de prensado en caliente	12
Figura 8-1: Prensa en frio	13
Figura 9-1: Extracción por solventes	13
Figura 10-3: Localización ESPOCH.....	18

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Información nutricional de la nuez.....	4
Tabla 2-1: Información nutricional del Sésamo.....	7
Tabla 1-3: Localización ESPOCH	17
Tabla 2-3: Ingeniería del proyecto	19
Tabla 3-3: Composición proximal de la nuez (g/100 g de alimento).....	20
Tabla 4-3: Composición proximal del sésamo (g/100 g de alimento)	20
Tabla 5-3: Perfil lipídico de la nuez.....	21
Tabla 6-3: Perfil lipídico del sésamo	21
Tabla 7-3: Caracterización física de la nuez	22
Tabla 8-3: Caracterización física del sésamo.....	22
Tabla 9-3: Ventajas y desventajas operacionales de la utilización de extracción de aceites por presión y por solventes.	22
Tabla 10-3: Tipos de sistemas de extracción por presión considerados	23
Tabla 11-3: Parámetros iniciales del tornillo	25
Tabla 12-3: Rangos de variables de operación	26
Tabla 13-3: Datos geométricos del tornillo.....	38
Tabla 14-3: Parámetros de la velocidad del tornillo	38
Tabla 15-3: Parámetros del flujo en el sistema	39
Tabla 16-3: Datos del cálculo de la potencia del equipo	39
Tabla 17-3: Datos del cálculo del flujo en el dado.....	39
Tabla 18-3: Características técnicas del acero inoxidable	42
Tabla 19-3: Datos de Validación.....	44
Tabla 20-3: Composición proximal del aceite nuez (g/100 g de alimento)	50
Tabla 21-3: Composición proximal del aceite de sésamo (g/100 g de alimento)	50
Tabla 22-3: Perfil lipídico del aceite de nuez.....	51
Tabla 23-3: Perfil lipídico del aceite de sésamo	51
Tabla 24-3: Caracterización física de la nuez	52
Tabla 25-3: Caracterización física del sésamo.....	52
Tabla 26-3: Equipo extractor de aceite	53
Tabla 27-3: Accesorios	53
Tabla 28-3: Equipos	53
Tabla 29-3: Mano de obra.....	54
Tabla 30-3: Transporte.....	54
Tabla 31-3: Alimentación	54
Tabla 32-3: Recursos totales	54

RESUMEN

Se realizó el diseño y construcción de un equipo para la extracción de aceite de Nuez y Sésamo, el mismo que se instaló en el Laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), para el uso de los estudiantes de carreras afines de la facultad. Después de haber realizado los cálculos de ingeniería para el diseño bajo normas y principios teóricos ya establecidos en bibliografía, se procedió a la construcción del equipo el cual consta de dos partes principales para su correcto funcionamiento que son: motor-reductor, después de haber analizado los parámetros de presión y flujo másico en el caso de la semilla que requiere fuerza para su extracción, se determinó que el equipo requiere un motor-reductor de 2 HP de 60 rpm; el juego de camisa, tornillo y dado, requirió la elección de un material resistente a la corrosión y a las altas presiones por lo tanto, se estableció el uso de acero inoxidable AISI 304, debido a que las propiedades del mismo se adaptan a las especificaciones dadas en el diseño. Una vez instalada el equipo en el laboratorio se realizó la validación del mismo mediante una práctica en donde se recaudaron los datos necesarios para realizar los balances de materia y energía, donde se pudo concluir que el rendimiento del proceso con nuez fue de 70,69% y del sésamo fue de 59,28%. El aceite obtenido puede ser usado en diversos campos de la industria. Con el equipo extractor de aceite de semillas oleaginosas se pretende fomentar en la comunidad educativa la iniciativa de investigación sobre los posibles usos de los aceites obtenidos mediante este proceso.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <EXTRACCION DE ACEITES>, < NUEZ>, < SÉSAMO>, <EXTRUSOR>

ABSTRACT

We designed and built a machine to extract nut and sesame oil, which was located in the Organic Chemistry Laboratory in the Sciences Faculty of the Universidad Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Students who are studying related careers can use this machine. After making the engineering calculations for the design and taking into considerations the standards and theoretical principles already established in the bibliography, the construction of the machine took place. It encompasses two main parts for its correct operation: gearmotor, after analyzing the pressure standards, and volume flow rate in the case of the seed that requires force for its extraction. It was determined that the equipment requires a 2HP – 60 rpm; and cylinder lines, screw and dado required the choice of a corrosion and high pressure resistance material. Thus, we established the use of stainless steel AISI 304 because its properties are suitable for the given specifications in the design. We validated the equipment when it was placed in the laboratory through a practice and we collected the necessary information to develop the mass and energy balances. It was concluded that efficiency of the process with nut was 70,69% and the sesame was 59,28%. The oil obtained can be used in diverse fields in the industry. With the oil seed extraction equipment, we try to promote a research initiative in the community about the possible uses of the oil obtained through this process.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <ENGINEERING Y CHEMISTRY TECHNOLOGY>, <OIL EXTRACTION>, <NUT>, <SESAME>, <EXTRUDER>.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

Las semillas oleaginosas son aquellas que en su interior poseen aceite y grasas que pueden ser extraídas por diversos procesos dependiendo de la clase de semilla; se puede usar métodos químicos con uso de solventes y métodos físicos en los cuales se realiza una extracción en frío que permite conservar mejor las propiedades del aceite. Entre las semillas empleadas para extraer aceite para consumo humano se encuentran: aceituna, la soya, la palma, sésamo, nuez, almendras, la semilla de aguacate entre otras.

Dentro de los aceites con mayor potencial de uso en la industria cosmética y alimenticia se encuentran el de nuez y de sésamo; de la semilla de sésamo (*Sesamum indicum*) se obtiene un aceite que es rico en nutrientes y con buenas características para el consumo humano y uso cosmético, no obstante, requiere protección de la luz y de altas temperaturas. (GUNSTONE, F.D.)

La extracción de aceite de estas semillas se realiza mediante un sistema de prensado en frío asegurando que las semillas no sean expuestas al calor, garantizando que el aceite extraído conserve sus características y sea de mayor calidad. En el país no se ha potenciado el uso de estos aceites, razón por la cual no existen suficientes equipos diseñados para este proceso.

En el laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH se observó la necesidad de implementar un equipo destinado para la extracción de aceite de semillas oleaginosas con el fin de que los estudiantes tengan la oportunidad de sustentar de manera práctica los conocimientos adquiridos en teoría.

1.2 Justificación del proyecto

En la actualidad la extracción de aceites de semillas oleaginosas exige una alta demanda en la calidad, misma que dependerá del método de extracción utilizado para este proceso, siendo el sistema de extracción mecánica con prensado en frío el más óptimo para este tipo de semillas.

Actualmente en el país se está potenciando la producción de aceite de semillas oleaginosas ya que en general la tendencia alimenticia de los consumidores está orientada al consumo de aceites bajos en ácidos grasos saturados, del mismo modo su uso cosmetológico genera interés ya que puede remplazar o adicionarse a tratamientos faciales.

Conociendo los usos y beneficios de este tipo de aceites, el presente trabajo se orienta al diseño y la construcción de un equipo para extraer aceite a partir de semillas oleaginosas utilizando un método en el que se limite la influencia directa de la temperatura durante el proceso para obtener un aceite de alta calidad que conserve sus características intactas para los diversos usos que se le pueda dar.

El diseño y construcción del equipo para la extracción de aceite de sésamo (*Sesamum indicum*) y de nuez (*Juglans regia*) proporcionará datos reales y experimentales sobre su obtención, potenciando así la investigación sobre los posibles usos que se pueda dar a este tipo de aceites, de manera que no sólo la industria local se vería beneficiada, sino que surgirían nuevas investigaciones orientadas a los diferentes usos industriales.

1.3 Línea base del proyecto

1.1.1 Antecedentes del Proyecto

Desde la antigüedad ya se conocía acerca del aceite de origen vegetal, los cuales eran utilizados para diferentes fines, como la alimentación y cosmetología. Se ha conocido que varias civilizaciones lo han utilizado incluso como combustible, siendo este el caso de los griegos y egipcios. En la actualidad los aceites vegetales han cobrado una importancia considerable en la alimentación de las personas por sus propiedades nutricionales saludables, para de esta forma disminuir diferentes enfermedades tales como diabetes y enfermedades del corazón (Pons, 2015).

Se han realizado varios estudios que han revelado que la grasa animal resulta ser más dañina para el ser humano que las de origen vegetal, esto es debido a la gran cantidad de colesterol en la

estructura y contenido de ácidos grasos saturados. Actualmente en la obtención de aceites de semillas oleaginosas se emplean solventes orgánicos muy fuertes para el ambiente por las emisiones, siendo el hexano el más utilizado en esta industria, poniéndolo en una lista de contaminantes atmosféricos que es emitida por la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos(Pons, 2015).

De los granos considerados para este proyecto se conoce que el sésamo originariamente es una planta de la India y de África y también se lo conoce con el nombre de ajonjolí. En la antigüedad esta semilla era utilizada con miel para fines cosméticos alargando la juventud y belleza de quienes lo utilizaban. El aceite de nuez en cambio se deriva del fruto del nogal el cual es originario de Persia, es considerado un alimento alto en proteínas y fibra por lo que es utilizado en la alimentación ayudando a la prevención de enfermedades cardiovasculares.

1.1.2 Importancia del proyecto

La construcción de un equipo para extracción de aceite de semillas oleaginosas para el laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ayudará a los estudiantes de diferentes carreras afines a sustentar de manera experimental sus conocimientos teóricos en cuanto al proceso de extracción; generando de esta manera un incentivo para la investigación del mejor uso que se le pueda dar al aceite obtenido.

El presente proyecto fomentará la investigación sobre los aceites considerados al mismo tiempo que dará apertura al descubrimiento de aceites obtenidos de semillas semejantes aportando nuevos conocimientos a docentes y estudiantes.

1.1.3 Marco conceptual

1.1.3.1 Nuez

Fruto

La nuez es el fruto del nogal el mismo que posee una forma redonda, cubierta por una cáscara gruesa y rugosa de un color característico, y en su interior se encuentra la parte comestible que tiene un sabor dulce.



Figura 1-1: Nuez

Fuente: <https://mundoasistencial.com/beneficios-y-propiedades-de-la-nuez/>

Este fruto contiene un valor nutritivo y calórico alto de aproximadamente 688 Kcal por cada 100 gr y además cuenta con vitaminas importantes como las del grupo B (ácido fólico). Estudios han demostrado que los frutos secos tienen mayor valor nutritivo para la salud, en especial para el corazón por su alto nivel de proteínas y antioxidantes, lo que ayuda a neutralizar efectos en las moléculas las cuales causan la oxidación y de la misma manera dañan las células(Interempresas Media, 2018).

La nuez contiene más antioxidantes que otros frutos secos como el maní y almendras pues una porción de nuez posee dos veces más antioxidantes que cualquier otro fruto seco. Este fruto contiene grasas poliinsaturadas y mono insaturadas mismas que son grasas buenas para el organismo(BBC News Mundo, 2011).

Tabla 1-1: Información nutricional de la nuez

	Información Nutricional	
Valor Calórico	Por ración (33 Kcal – 137 KJ)	% CDO 1,6% (Cantidad Diaria)
Grasas	3,3 g	5,0 %
Grasas saturadas	0,3 g	1,4 %
Grasas mono insaturadas	0,4 g	1,5 %
Grasas poliinsaturadas	2,4 g	15,7 %
Carbohidratos	0,7 g	0,3 %
Azúcares	0,1 g	0,3 %
Proteínas	0,8 g	1,0 %
Fibra alimentaria	0,3 g	0,1 %
Colesterol	0,0 mg	0,0 %
Sodio	< 0,1 g	< 0,1 %
Agua	0,2 g	< 0,1 %

Fuente: <https://www.yazio.com/es/alimentos/nuez.html>

Planta

Conocida con el nombre de Nogal llega a medir 30 metros de altura, sus hojas son anchas de color verde opaco y desprenden un aroma agradable, posee un tronco recto y corto, su corteza es liza de color marrón en sus primeros años. En cuanto a las flores tiene un color verde y son de dos tipos: masculinas que están formados por espigas largas de 6 a 8 centímetros y femeninas que son pequeñas y crecen en grupos de 2 a 5 flores (BioEnciclopedia, 2015).



Figura 2-1: Planta de nogal

Fuente: <https://www.ecoagricultor.com/propiedades-del-nogal/>

1.1.3.2 Sésamo

Fruto

El sésamo es una semilla pequeña, apetecida por la gran cantidad de aceite que posee, debido a sus propiedades medicinales.



Figura 3-1: Sésamo

Fuente: <https://www.vidanaturalia.com/semillas-de-sesamo-propiedades-y-beneficios/>

La semilla de sésamo tiene grandes beneficios nutricionales como los aportes de las grasas saludables, minerales y vitaminas al ser consumidas frecuentemente. Tiene una gran cantidad de vitaminas del complejo B que es esencial en el funcionamiento de las células rojas del organismo, así como diferentes minerales que son beneficiosos para la salud ósea (Vida Naturalia, 2018b).

Se conoce que esta semilla tiene una gran cantidad de fitoesteroles vegetales que ayudan a impedir la absorción del colesterol y ayuda a disminuir el riesgo de contraer ciertos tipos de cáncer (Mejor Con Salud, 2017).

Tabla 2-1: Información nutricional del Sésamo.

Información Nutricional en 100 g	
Calorías	598 Kcal
Proteínas	20 g
Hidratos de carbono	23 g
Grasas	58 g
Vitamina B1	0,8 mg
Vitamina B2	0,79 mg
Vitamina B3	4,5 mg
Ácido fólico	97 mcg
Vitamina E	2 mg
Calcio	670 mg
Hierro	10 mg
Zinc	5 mg
Potasio	470 mg
Fósforo	629 mg
Magnesio	351 mg

Fuente: <https://www.vidanaturalia.com/semillas-de-sesamo-propiedades-y-beneficios/>

Planta

La planta de donde procede esta semilla llega a medir aproximadamente un metro y medio de altura, su tallo es de aspecto cilíndrico, posee hojas anchas de 1 a 5 centímetros y de 3 a 7 centímetros de largo. Tiene flores solitarias de un color blanquecino. El fruto presenta una capsula con una longitud de 5 centímetros en el cual se encuentra las semillas de sésamo (Flores, 2014).



Figura 4-1: Planta de sésamo
Fuente: <https://www.flores.ninja/ajonjoli/>

1.1.3.3 Aceites de origen vegetal

Los aceites de origen vegetal a diferencia de los aceites de origen animal, no contienen colesterol y poseen una gran cantidad de ácidos grasos esenciales y vitaminas dentro de su estructura. Estos componentes ayudan a evitar los riesgos de enfermedades cardiovasculares, mismas que hoy en día son muy comunes en los seres humanos.

Este aceite se extrae de semillas de plantas como girasol, nuez, sésamo, soya, almendras y varias más. Estos se los puede encontrar como aceite comestible puro, que se obtiene de un sólo tipo de planta, y como aceite vegetal comestible, cuando se trata de una mezcla de aceites. (Aceites de origen vegetal)

1.1.3.4 Ácidos grasos

Son componentes orgánicos presentes en las grasas, generalmente de cadena lineal con un número par de átomos de carbono, están íntimamente ligados a procesos vitales ya que son los encargados de proporcionar energía al cuerpo humano. (Ácidos grasos)

Los ácidos grasos pueden ser de tres tipos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, dependiendo de la presencia o ausencia de uno o más (pares de) dobles enlaces carbono-carbono dentro de la molécula. (Ácidos grasos)

Ácidos grasos saturados

Son aquellos cuya cadena carbonada se encuentra llena de hidrógenos, razón por la cual los enlaces entre sus átomos de carbono son simples, sin ningún doble enlace, es decir que la molécula tiene una estructura rectilínea. (Acidos Saturados)

Dentro de estos tenemos:

- **Ácido Caproico**

Es un ácido graso que posee una cadena corta debido a que cuenta con 6 átomos de carbono, en cuanto a una de sus propiedades físicas que es la solubilidad varía de insoluble a ligeramente soluble en agua. Este ácido predomina dentro de la producción de fármacos de calidad alta. (Ácido Caproico)

- **Ácido Caprílico**

Es también conocido como ácido octanoico, debido a que en su estructura posee 8 átomos de carbono, razón por la cual es un ácido graso saturado de cadena media. Lo podemos encontrar en algunos productos de uso alimenticio como leche, coco, etc.

- **Ácido Palmítico**

Se denomina también como ácido hexadecanoico, ya que en su estructura cuenta con 16 átomos de carbono, por lo que es un ácido graso de cadena larga, se encuentra presente en productos de origen animal y vegetal. Es el ácido graso menos saludable dentro de una dieta debido a que aumenta el nivel de colesterol en la sangre. Posee una forma sólida misma que corresponde a cristales blanquecinos, amarillentos o incoloros. Tiene solubilidad en el agua, se considera un ácido débil y sin olor. (Ácido Palmítico)

- **Ácido Esteárico**

Es un ácido que cuenta con 18 átomos de carbono, de cadena lineal, que pertenece a los ácidos carboxílicos alifáticos. Es insoluble en agua, pero soluble en compuestos apolares como alcohol, cloroformo, éter y etanol. Se encuentra presente en grasas animales y vegetales.

Ácidos grasos monoinsaturados

Este tipo de ácidos dentro de su estructura posee un solo doble enlace en la cadena carbonada. Poseen funciones vitales dentro del organismo humano como brindar energía para el sistema nervioso y protegerlo contra enfermedades cardiovasculares. (Ácidos grasos monoinsaturados)

Dentro de los más relevantes tenemos:

- **Ácido Oleico**

Es un ácido graso de cadena lineal larga con 18 átomos de carbono y un doble enlace “cis” en su carbono número 9, dentro de este grupo este ácido es el más estable a la oxidación y a temperaturas elevadas. En cuanto a sus propiedades físicas es un líquido oleoso que no es soluble en el agua y dentro de sus principales usos se lo utiliza para elaborar detergentes, cosméticos, fármacos, etc. (Ácido Oleico)

Ácidos grasos poliinsaturados

Entre sus átomos de carbono poseen más de un doble enlace, se conocen tres tipos de acuerdo al lugar que ocupa el primer doble enlace respecto al carbono que posee el grupo metilo (-CH₃), estos son:

- **Ácido linoleico**

Es un ácido mono carboxílico que posee una cadena lineal que cuenta con 18 átomos de carbono y dos dobles enlaces “cis” en los carbonos 9 y 12. (Ácido Linoleico)

1.1.3.5 Extracción de aceite

Generalmente el aceite vegetal se extrae de las semillas aplicando una trituración, la que genera el aislamiento de la grasa o aceite del residuo. El tipo de extracción se da dependiendo de la semilla pero, actualmente, el proceso que se utiliza con mayor frecuencia es la fuerza mecánica con el fin de romper las paredes celulares de la semilla por medio de un prensado, el mismo que es más eficiente al obtener el aceite crudo y como residuo la torta de la cual aún se puede extraer una mínima cantidad de aceite al ser tratado con solventes orgánicos(Grasas y Aceites Vegetales, 2014).

Procesos para la extracción de aceite:

- **Molienda**

En este proceso la semilla se va a reducir de tamaño mediante unos rodillos, hasta llegar a obtener una pasta homogénea la misma que se llevará a un prensado y de esta forma se obtendrá el aceite.(Grasas y Aceites Vegetales, 2014).



Figura 5-1: Molino de semillas

Fuente: <https://grasas-y-aceites-vegetales.webnode.com.co/procesos/extraccion-de-aceites/molienda/>

- **Prensado**

Esta operación se utiliza cuando las semillas oleaginosas tienen alto contenido de aceite o cuando se desea obtener aceites vírgenes, se lo realiza aplicando presión sobre la materia prima, por lo que la cantidad de aceite dependerá de la presión que se ejerza. Este método es utilizado desde la antigüedad ya que se ejerce una fuerza mecánica para la obtención del aceite (El Pequeño Agroindustrial, 2014).

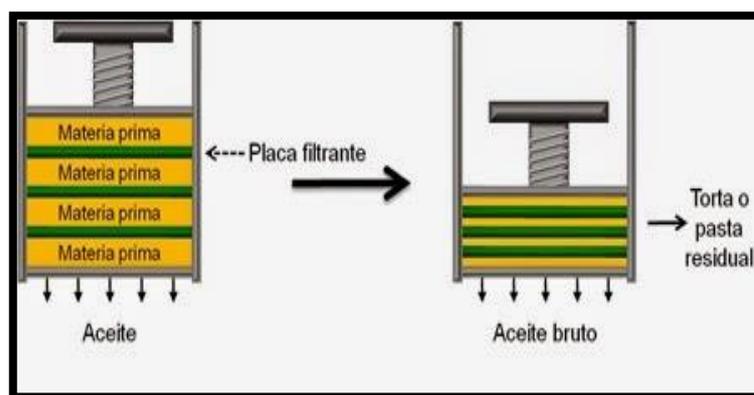


Figura 6-1: Prensa para obtención de aceite

Fuente: <http://elpequenoagroindustrial.blogspot.com/2014/07/extraccion-de-aceite-prensado.html>

- **Prensado en caliente**

Se refiere a la aplicación de calor a la semilla oleaginosa en el prensado, pues se utiliza una determinada cantidad de calor con el fin de obtener un rendimiento mayor de aceite. Sin embargo la aplicación de calor tiene una desventaja ya que destruye partes o componentes importantes en las vitaminas y fitosteroles que forman el aceite(Grasas y Aceites Vegetales, 2014).



Figura 7-1: Máquina de prensado en caliente

Fuente: <http://www.plantasaceiteras.com/plata-de-molienda-de-aceite/prensado-en-caliente.html>

- **Prensado en frío**

En la extracción a temperatura ambiente obtiene una menor cantidad de aceite, pero con mayor cantidad de vitaminas y fitosteroles. Gracias a este método el aceite es más rico en sustancias activas, por lo general los aceites obtenidos en frío son más recomendados por la cantidad de nutrientes presentes(Grasas y Aceites Vegetales, 2014).



Figura 8-1: Prensa en frio

Fuente: http://www.plantasaceiteras.com/prensado_en_frio_extraccion_aceite.html

- **Extracción con disolventes**

Este procedimiento se da básicamente en las tortas que es el residuo del prensado ya que todavía contienen aceite entre un 10 % a un 20 % por lo que se utiliza disolventes como cloruro de etilo y hexano para la extracción del aceite residual. En la práctica los disolventes al ser calentados se evaporan quedando así el aceite, además mediante este método pierde sus propiedades ya que es sometido a una cierta temperatura(Grasas y Aceites Vegetales, 2014).



Figura 9-1: Extracción por solventes

Fuente: [https://www.slideshare.net/yarizajorgerramirez/extraccion-de-aceite-de-semilla-de-
algodon](https://www.slideshare.net/yarizajorgerramirez/extraccion-de-aceite-de-semilla-de-algodon)

1.1.3.6 Aplicación de aceites vegetales en la industria

Aceites vegetales como fuente de biodiesel

Los componentes utilizados en la obtención de biodiesel son altamente contaminantes por lo que se está buscando una alternativa mucho más amigable con el ambiente, por esta razón se busca la introducción de aceites vegetales para la obtención de este combustible. En la actualidad existen varios países que utilizan aceites vegetales como biocombustible en motores a Diesel, los cuales se obtienen mayormente de semillas, plantas y algas oleaginosas.

Los aceites vegetales se pueden utilizar como combustible de automotores diesel, aunque puede presentar inconvenientes al cristalizarse por la presencia de ceras a bajas temperaturas. Aunque la utilización de estos aceites es innovadora debe tomarse en consideración que sus propiedades deben estar bien definidas y con los valores dentro de los límites normados (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Rössel Kipping and Schümann, 2010).

Aceites vegetales en cosmética

Desde la antigüedad se ha conocido muy bien que las plantas ofrecen gran cantidad de propiedades altamente nutricionales que se ha aprendido a aprovechar en la industria de los cosméticos. La utilización ancestral de los frutos, semillas, flores y los extractos de las plantas en remedios, afirma la idea de todas las propiedades favorecedoras que poseen y que actualmente están demostradas en su gran mayoría. (Vida Naturalia, 2018a).

Un aceite de origen vegetal de buena calidad se compone básicamente de triglicéridos, mismos que son fundamentales en la utilización en cosméticos por su acción en contacto de la piel, pues al contener fenoles y esteroles pueden actuar contra bacterias, funcionan como antioxidante, anti tumorales, etc. (Veradermis, 2012).

Los aceites vegetales más utilizados son el aceite de aguacate, de almendras dulces, argán, caléndula, germen de trigo, jojoba, rosa mosqueta, sésamo, y nuez (Veradermis, 2012).

Aceites vegetales en lubricantes

Los aceites vegetales en la industria de los lubricantes son utilizados tomando en cuenta varios factores como el costo de obtención del mismo, propiedades adecuadas en temperaturas muy bajas y adecuada estabilidad oxidativa y térmica.

La razón por la cual se considera los aceites vegetales es porque algunos, como el aceite de palma, tienen ácidos grasos que se adhieren a superficies metálicas más eficientemente que los aceites minerales ayudando a la acción lubricante. Algunos aceites que se pueden incluir en este ámbito industrial son los aceites de coco, de girasol, de soya y de palma (Ilija Gawrilow, 2005).

1.4 Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1. Beneficiarios directos

Los principales beneficiarios de la implementación del presente proyecto serán los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química y afines de la ESPOCH, ya que gracias al equipo de extracción de aceite se podrá poner en práctica los conocimientos teóricos impartidos en la cátedra de Química Orgánica se imparte en varias carreras de la Facultad de Ciencias.

1.4.2. Beneficiarios Indirectos

Serán los estudiantes y docentes pertenecientes a grupos de investigación de la Facultad de Ciencias o miembros de la comunidad de la ESPOCH que tengan la necesidad de utilizar el equipo de extracción de aceites, ya que se encuentra diseñado para fines investigativos.

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 General

Diseñar y construir un equipo para extraer aceite de sésamo (*Sesamum indicum*) y nuez (*Juglans regia*).

2.2 Específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente las semillas de sésamo (*Sesamum indicum*) y nuez (*Juglans regia*).
- Definir las variables de proceso dentro de la extracción de aceite.
- Realizar el diseño de ingeniería del equipo de extracción de aceite de sésamo y nuez.
- Construir el equipo de extracción en base al diseño realizado, para el laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.
- Validar el diseño de ingeniería a través de la caracterización final del aceite obtenido con norma NTE INEN 34:2012.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del Proyecto

El presente proyecto se realizará en el Laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, misma que está ubicada en la Panamericana Sur km 1 1/2, en la ciudad de Riobamba – Ecuador.

Tabla 1-3: Localización ESPOCH

ELEMENTO	UBICACIÓN
Continente	América
País	Ecuador
Provincia	Chimborazo
Cantón	Riobamba
Altitud	2822 m.s.n.m
Localización coordenadas Utm	17 M 758393.95 m E UTM 9817026.05 m S
Localización Coordenadas geográficas	78°40'39.24" de longitud occidental y a 1°39'14.58" de latitud sur.

FUENTE: Google 2018

Realizado por: Jessica Ríos, Dayana Salazar 2018

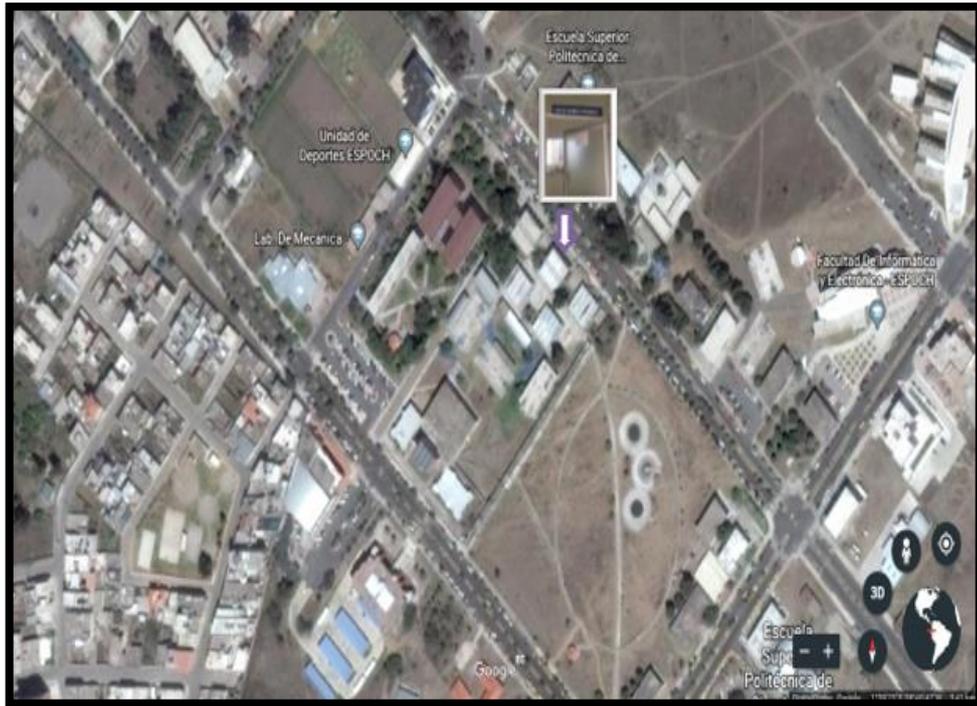


Figura 1-3: Localización ESPOCH
Fuente: Google maps, 2018

3.2 Ingeniería del Proyecto

La finalidad del proyecto es construir un equipo diseñado para la extracción de aceites de semillas oleaginosas para fomentar el uso de los mismos en el área cosmética, alimenticia, farmacéutica principalmente; mediante investigación de equipos para obtención de aceites se recopilará la información necesaria.

Tabla 2-3: Ingeniería del proyecto

OBJETIVO	DESARROLLO
<ul style="list-style-type: none"> Realizar la caracterización fisicoquímica de las semillas de sésamo (<i>Sesamum indicum</i>) y nuez (<i>Juglans regia</i>). 	<p>Con la finalidad de obtener la mayor cantidad de aceite a partir de las semillas, las mismas que son la única materia prima que interviene en el proceso ya que no existirá adición de ningún tipo de solvente o coadyuvante en la extracción, el diseño se basará en mantener las características naturales de la semilla intactas por este motivo se deben tipificar las características físicas y químicas antes del proceso de extracción ,ya que estos datos servirán para brindar condiciones de calidad.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Definir las variables de proceso dentro de la extracción de aceite. 	<p>Para lograr la identificación correcta de las variables del proceso, las operaciones y los parámetros óptimos para extracción de aceite a escala de laboratorio es necesario conocer y analizar condiciones de funcionamiento sumamente importantes como: los flujos de materia, la capacidad instalada del equipo, las condiciones de operación del equipo, las características de la materia prima y el producto. Ya que esta información será de vital importancia para la realización de los cálculos analíticos que conllevarán a revelar cuál será la forma más adecuada para poner en marcha la extracción.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Realizar el diseño de ingeniería del equipo de extracción de aceite de sésamo y nuez. 	<p>Mediante la identificación de las variables, los cálculos analíticos referentes al tamaño, la longitud los requerimientos energéticos, la eficiencia, en base al balance de masa revelará las condiciones óptimas para la extracción de aceite.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Construir el equipo de extracción en base al diseño realizado. 	<p>El diseño “teórico” será el punto de partida para la construcción del equipo es decir los cálculos de diseño serán la pauta para poder realizar una extracción real con datos experimentales funcionales, del mismo modo se revelará la pertinencia entre los datos de la caracterización y las consideraciones de las variables de diseño.</p>

	Además se intentará mantener la eficiencia de extracción como parámetro fundamental lo más elevada posible.
<ul style="list-style-type: none"> Validar el diseño de ingeniería a través de la caracterización final del aceite obtenido con la norma NTE INEN 34:2012 	La validación del diseño se la realizará mediante la caracterización físico-química del aceite extraído el mismo que deberá basarse en la norma NTE INEN 34:2012 la cual hace referencia a MEZCLAS DE ACEITES VEGETALES COMESTIBLES. REQUISITOS

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

3.2.1 Caracterización de la materia prima

3.2.1.1 Caracterización química

Se consultó datos de análisis proximal de la materia prima, los mismos que se detalla en las tablas 3-3 y 4-3:

Tabla 3-3: Composición proximal de la nuez (g/100 g de alimento)

Proteína	13.70
Fibra	2.00
Grasa	67.20
Humedad	3.50
Ceniza	0.04
Carbohidratos	13.20

Fuente: Muñoz, M & Ledesma, J. (2002)

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

Tabla 4-3: Composición proximal del sésamo (g/100 g de alimento)

Proteína	22.40
Fibra	6.30
Grasa	50.90
Humedad	3.90
Ceniza	4.20
Carbohidratos	13.30

Fuente: Muñoz, M & Ledesma, J. (2002)

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

Para la determinación de los ácidos grasos que contiene la materia prima se realiza un análisis de perfil lipídico, detallado a continuación:

Tabla 5-3: Perfil lipídico de la nuez

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
ACIDOS GRASOS SATURADOS		
Ácido palmítico (C16:0)	%	11.56
Ácido caprílico (C8:0)	%	2.28
Ácido esteárico (C18:0)	%	1.14
Ácido caproico (C6:0)	%	0.82
Ácido lignocérico (C24:0)	%	0.56
ACIDOS GRASOS MONOINSATURADOS		
Ácido oleico (C18:1n9cis)	%	11.37
Ácido cis-10 heptadecenoico (C17:1)	%	2.47
Ácido nervónico (C24:1n9)	%	0.36
ACIDOS GRASOS POLIINSATURADOS		
Ácido linoleico (C18:2n6cis)(Omega 6)	%	18.91
Ácido linolénico (C18:3n3)(Omega 3)	%	3.41
Ácido eicosadienoico (C20:2n6)	%	0.88

Fuente: LABOLAB. Laboratorio de análisis de alimentos, aguas y afines. 2018

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

Tabla 6-3: Perfil lipídico del sésamo

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
ACIDOS GRASOS SATURADOS		
Ácido palmítico (C16:0)	%	8.48
Ácido esteárico (C18:0)	%	1.00
ACIDOS GRASOS MONOINSATURADOS		
Ácido oleico (C18:1n9cis)	%	13.83
Ácido palmitoleico (C16:1)	%	0.17
ACIDOS GRASOS POLIINSATURADOS		
Ácido linoleico (C18:2n6cis)(Omega 6)	%	29.03
Ácido linolénico (C18:3n3)(Omega 3)	%	0.26

Fuente: LABOLAB. Laboratorio de análisis de alimentos, aguas y afines. 2018

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

3.2.1.2 Caracterización física

Tabla 7-3: Caracterización física de la nuez

pH	4	-
Densidad	0.95	g/ml
Tamaño	2.5	cm

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

Tabla 8-3: Caracterización física del sésamo

pH	6	-
Densidad	1.019	g/ml
Tamaño	0.3	cm

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

3.2.2 Selección del método de extracción del aceite

Dentro de la bibliografía revisada en el Capítulo I se determinó las vías principales de extracción de aceites, que se exponen a continuación:

- **Extracción por presión:** se aplica presión al material del cual se desea extraer el aceite para generar la ruptura de las fibras que contienen el aceite y la posterior extracción mecánica del mismo.
- **Extracción por solvente:** se realiza la extracción liquido-liquido o solido-liquido del aceite por medio de un solvente que sea afín al aceite a extraer e inerte con los restantes componentes de la materia prima.

En la tabla 9-3 se determinan las ventajas y desventajas operacionales de cada método.

Tabla 9-3: Ventajas y desventajas operacionales de la utilización de extracción de aceites por presión y por solventes.

VÍA DE EXTRACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Presión	Menor costo de operación	Productos de menor concentración
	Menor complejidad de los equipos	No se puede aplicar en la extracción de productos muy refinados

	Menor grado de contaminación	No aplicable a materias primas con escaso contenido de aceites
Solventes	Es aplicable en la obtención de productos ampliamente refinados	Costos de operación elevados
	Es aplicable para materias primas con poco contenido de aceite.	Procesos altamente contaminantes

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

En vista a que las materias primas a utilizar (nuez y sésamo) presentan un contenido de aceite considerable y que se busca obtener un proceso de mayor estabilidad y con mejor rendimiento se consideró como principal vía de extracción la utilización de presión.

3.2.2.1 Selección del tipo de sistema de extracción por presión

En la tabla 10-3 se describen los diferentes tipos de sistemas de extracción por presión considerados:

Tabla 10-3: Tipos de sistemas de extracción por presión considerados

TIPO DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN POR PRESIÓN	APLICACIONES Y VENTAJAS
Extracción con prensa	Extracción de aceites en materias primas voluminosas
Extracción con rodillos	Materias primas de alta dureza.
Extracción con láminas de prensado	Materias primas que requieren filtrado.
Extracción con extrusora	Extracción de materias primas de dureza baja que requieren trituración, filtrado y mezclado simultaneo.

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

En base a lo señalado en la tabla anterior se seleccionó como sistema de extracción por presión la extrusión, en vista a que es la más aplicable en función de las características de la materia prima, además que integra un conjunto de operaciones unitarias en un solo equipo (mezclado, trituración, filtración y extracción).

3.2.2.2 Selección del tipo de extractora en base a la aplicación de la energía

- **Extrusoras de desplazamiento positivo:** la presión la genera un sistema de pistones accionados por energía hidráulica o mecánica.
- **Extrusoras de fricción viscosa:** La acción del transporte se consigue aprovechando las propiedades físicas de la materia a tratar y la fricción generada entre la misma y las paredes de la máquina.

En vista a que las extrusoras de desplazamiento positivo requieren sistemas complejos de generación de energía hidráulica para el accionamiento de los pistones y son aplicadas principalmente para la extrusión de material de alta dureza (como polímeros plásticos o metales) se estableció que el equipo propuesto actúe en base a un sistema de extrusoras de fricción viscosa, por medio de husillo o tornillo, para que este tipo de equipo presente un mayor caudal en materiales de poca dureza (como alimentos) y su operación y construcción es más factible a nivel de laboratorio.

3.2.3 Obtención de las variables de diseño

Para la obtención de las variables que se deben controlar en el equipo se realizó primero una simulación a nivel de laboratorio para contar con una idea clara de la finalidad que debe cumplir el equipo construido y del proceso correcto para la obtención del aceite de las dos semillas consideradas para este proyecto.

Tomando en cuenta que el equipo está destinado al uso investigativo de la cátedra de química orgánica, se debe procurar que el método extractivo del aceite no sea agresivo por lo tanto se elige un método sin la aplicación externa de calor a la semilla.

Después de realizar varias pruebas se determinó la variable más importante dentro del proceso que sería el flujo másico.

3.2.3.1 Flujo másico

Es la variable más importante del proceso, ya que la cantidad de alimentación está directamente relacionada con la cantidad de aceite extraído en un tiempo determinado, también de éste dependerá la eficiencia del equipo y el rendimiento del proceso. Las unidades establecidas para esta variable están expresadas en kg/h .

3.2.4 Cálculos del diseño del equipo

Tabla 11-3: Parámetros iniciales del tornillo

DIAMETRO DEL TORNILLO (Dt)	40	mm
HOLGURA CAMISA TORNILLO (Hct)	0,04	mm
ALTURA DEL HILO DEL TORNILLO (Ht)	5.63	mm
ANCHO DEL HILO DEL TORNILLO (bt)	3.68	mm
PASO DEL TORNILLO (Pt)	18	mm
LONGITUD DEL TORNILLO (Lt)	230	mm

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

En la figura 2-3 se evidencia la geometría del tornillo, así como también se explican los componentes del mismo

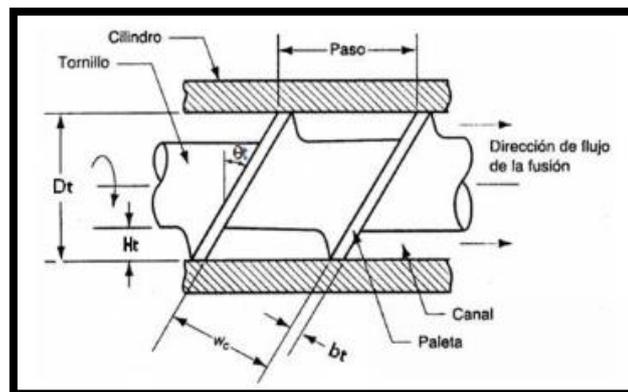


Figura 2-3: Geometría del tornillo

Fuente: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecnologia-II/PDF/cap-23.pdf>

3.2.4.1 GEOMETRÍA DEL TORNILLO

El principal componente del equipo extractor de aceite es el tornillo, el cual define el corte del extrusor a usar, considerando que se va a diseñar un tornillo cónico el mismo que aumenta la presión de la semilla reduciendo el espacio entre el canal del mismo y la camisa.

Tabla 12-3: Rangos de variables de operación

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 L_t/D_t	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 ($kW - h/kg$)	0.03 - 0.06	0.04 - 0.08	0.10 - 0.14

Fuente: Food Extrusion Science and Technology

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

La tabla 12-3 indica rangos en los cuales se va trabajar, los cuales se adapta más a las semillas que usaremos (nuez y sésamo), se concluye diseñar un expeller de corte bajo, tomando en cuenta los parámetros de temperatura, velocidad, humedad entre otras.

- Relación de corte

Para determinar el corte del equipo se realiza una relación entre la longitud y distancia.

Relación L/D

$$\frac{L_t}{D_t}$$

Ec.1

$$\text{Relación de corte} = 5.26$$

Según Food Extrusion Science and Technology se trata de un Expeller de corte bajo (5-8).

- Tornillo: Radio medio

$$r_m = \frac{D_t}{2} - \frac{H_t}{2}$$

Ec.2

$$r_m = 17,68 \text{ mm}$$

- Tornillo: Ángulo de hélice

$$\theta_t = \text{atan}\left(\frac{P_t}{2 * \pi * r_m}\right) * \frac{180}{\pi}$$

Ec.3

$$\theta_t = 11,25^\circ$$

$$\theta_{tr} = 0.20 \text{ rad}$$

- Ancho del canal del tornillo

$$W_t = (\pi * D_t * \tan(D_t) - b_t) * \cos(\theta_{tr})$$

Ec.4

$$W_t = 17 \text{ mm}$$

3.2.4.2 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

- Flujo másico establecido

Mediante simulación previa al diseño del equipo, se determinó el flujo másico para dimensionar el equipo a escala de laboratorio.

$$R = 6 \text{ kg/h}$$

Ec.5

- Diámetro del tornillo: pulgadas

$$D_{tp} = \frac{D_t}{25,4}$$

Ec.6

$$D_{tp} = 1,61 \text{ in}$$

- Altura del hilo: pulgadas

$$H_{tp} = \frac{H_t}{25,4}$$

Ec.7

$$H_{tp} = 0,24 \text{ in}$$

- Gravedad específica de la nuez

La gravedad específica del sésamo se determinó mediante prácticas de laboratorio.

$$g_s = 0,67 \text{ (adimensional)}$$

- Tornillo: Velocidad de rotación

$$N_{rpm} = \frac{R}{2,3 * D_{tp}^2 * H_{tp} * g_s}$$

Ec.8

$$N_{rpm} = 56,18$$

$$N_{rad} = 6,28 \text{ rad/s}$$

- Motoreductor: Velocidad de giro (se ajusta al motoreductor disponible en el mercado)

$$N = 60 \text{ rpm}$$

3.2.4.2 CALCULO DE FLUJO

- Razón de corte

$$\gamma_{app} = \frac{\pi * N_{rad} * D_t}{H_t}$$

Ec.9

$$\gamma_{app} = 143,75 \text{ s}^{-1}$$

- Viscosidad aparente

El factor m y n se encuentra en la tabla de Modelos de energía reportados para alimentos extruidos, que indican los índices de flujo de varias semillas; tomamos los valores de las semillas completas de soya, de esta manera encontraremos la viscosidad aparente del sésamo

$$n = 0,3$$

$$m = 3440$$

$$\mu_{app} = m * \gamma_{app}^{n-1}$$

Ec.10

$$\mu_{app} = 106,23$$

- Caudal másico para ser procesado

El caudal másico se estableció mediante una simulación de laboratorio.

$$Q_{kg} = 6 \text{ kg/h}$$

- Densidad del sésamo

$$\rho_n = 1019 \text{ kg/m}^3$$

- Caudal volumétrico deseado

$$Q_1 = \frac{Q_{kg} * 10^9}{3600 * \rho_n}$$

Ec.11

$$Q_1 = 3,27 * 10^3 \text{ mm}^3/\text{s}$$

- Coeficiente para gradiente de presión α

$$\alpha = 0.5 * \pi^2 * D_t^2 * N_{rad}$$

Ec.12

$$\alpha = 5,21 * 10^4 \text{ mm}^2/\text{s}$$

- Coeficiente para gradiente de presión β

$$\beta = \frac{\pi * D_t}{12}$$

Ec.13

$$\beta = 10,73 \text{ mm}$$

- Gradiente de presión en la extrusión en longitud efectiva del tornillo

$$\Delta P = \int_0^{180} \frac{[\alpha * (H_t) * \sin(\theta_{tr}) * \cos(\theta_{tr}) - Q_1] * \mu_{app}}{\beta * (H_t)^3 * \sin(\theta_{tr}) * \sin(\theta_{tr})} dx$$

Ec.14

$$\Delta P = 16,81 \text{ MPa}$$

- Presión de trabajo escogida

$$P = 16 \text{ MPa}$$

- Presión máxima en extrusión

$$P_{max} = \frac{6 * \pi * D_t * N_{rad} * L_t * \mu_{app} * \cot(\theta_{tr})}{H_t^2}$$

Ec.15

$$P_{max} = 23,11 \text{ Mpa}$$

- Caudal volumétrico calculado (Handbook of Food Engineering)

$$Q = Q_d - Q_p$$

Ec.16

$$Q = \frac{\pi * D_t * N_{rad} * \cos(\theta_{tr}) * W_t * H_t}{2} - \frac{W_t * H_t^3 * \sin(Q_p) * P}{12 * \mu_{app} * 10^{-6} * L_t}$$

Ec.17

$$Q = 1,04 * 10^4 \text{ mm}^3/\text{s}$$

- Caudal másico calculado

$$Q_{kg1} = \frac{Q * 3600 * \rho_s}{10^9}$$

Ec.18

$$Q_{kg1} = 5,07 \text{ kg/h}$$

Se requiere corregir la fórmula del caudal volumétrico mediante el uso de factores resultantes de la relación de H_t/W_t

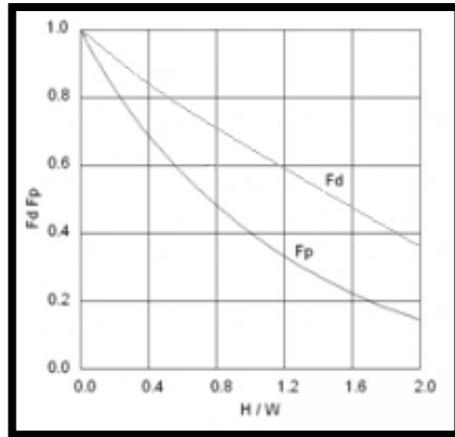


Figura 3-3: Factores de corrección de flujo de arrastre (Fd) y flujo de presión (Fp) como función de la geometría del canal H_t/W_t

$$\frac{H_t}{W_t} = 0,33$$

- Factor según Levine para arrastre:

$$F_d = 0,85$$

- Factor según Levine para presión:

$$F_p = 0,7$$

- Ecuación general corregida del caudal volumétrico

$$Q = \frac{\pi * D_t * N_{rad} * \cos(\theta_{tr}) * W_t * H_t}{2} * F_d - \frac{W_t * H_t^3 * \sin(Q_p) * P}{12 * \mu_{app} * 10^{-6} * L_t} * F_p$$

Ec.19

$$Q_{corregido} = 1,38 * 10^4 \text{ mm}^3/s$$

- Caudal másico corregido

$$Q_{tc} = \frac{Q * 3600 * \rho_n}{10^9}$$

Ec.20

$$Q_{kg1} = 12.26 \text{ kg/h}$$

3.2.4.4 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA

- Flujo de arrastre

$$Q_d = \frac{\pi * D_t * N_{rad} * \cos(\theta_{tr}) * W_t * H_t}{2} * F_d$$

Ec.21

$$Q_d = 3,24 * 10^4 \text{ mm}^3/s$$

- Flujo de presión

$$Q_p = \frac{W_t * H_t^3 * \sin(Q_p) * P}{12 * \mu_{app} * 10^{-6} * L_t} * F_p$$

Ec.22

$$Q_p = 1,87 * 10^4 \text{ mm}^3/s$$

- Relación de aceleración

$$a = \frac{Q_p}{Q_d}$$

Ec.23

$$a = 0.58$$

- Potencia del motor eléctrico requerido

$$E = \frac{\mu_{app} * \left(\pi * N_{rad} * \frac{D_t}{10^3}\right)^2 * \frac{W_t}{10^3} * \frac{L_t}{10^3}}{\frac{H_t}{10^3} * \sin(\theta_{tr})} * \left[(\cos(\theta_{tr}))^2 + 4(\sin(\theta_{tr}))^2 + 3a(\cos(\theta_{tr}))^2 \right]$$

Ec.24

$$E = 8,32 * 10^2 W$$

$$E_{hp} = 1,12 hp$$

- Potencia perdida por transferencia de calor

$$E_c = E - E_p$$

Ec.25

$$E_c = 1,68 * 10^2 W$$

- Fórmula necesaria para el cálculo de potencia (Principles of Polymer Processing)

$$P_w = \frac{\mu_{app} * \left(\pi * N_{rad} * \frac{D_t}{10^3}\right)^2 * \frac{W_t}{10^3} * \frac{L_t}{10^3}}{\frac{H_t}{10^3} * \sin(\theta_{tr})} * \left[4 - 3 * (\cos(\theta_{tr}))^2 * \left(\frac{Q}{Q_d}\right) \right]$$

Ec.26

$$P_w = 8.32 * 10^2 W$$

$$P_{whp} = 1,12 hp$$

- Potencia mínima del motor

$$E_{min} = \frac{\mu_{app} * \left(\pi * N_{rad} * \frac{D_t}{10^3}\right)^2 * \frac{W_t}{10^3} * \frac{L_t}{10^3}}{\frac{H_t}{10^3} * \sin(\theta_{tr})} * \left[4 - 3 * (\cos(\theta_{tr}))^2 \right]$$

Ec.27

$$E_{min} = 3,25 * 10^2 W$$

$$E_{minhp} = 0,44 \text{ hp}$$

- Potencia máxima del motor

$$E_{max} = \frac{\mu_{app} * \left(\pi * N_{rad} * \frac{D_t}{10^3} \right)^2 * \frac{W_t}{10^3} * \frac{L_t}{10^3}}{\frac{H_t}{10^3} * \sin(\theta_{tr})} * (4)$$

Ec.28

$$E_{max} = 1,21 * 10^3 \text{ W}$$

$$E_{minhp} = 1,62 \text{ hp}$$

3.2.4.5 CÁLCULOS FR FLUJO A TRAVES DEL DADO

- Diámetro del dado:

$$D_d = 40 \text{ mm}$$

- Longitud de la abertura del dado:

$$L_d = 9 \text{ mm}$$

- Viscosidad de la función

$$\mu_d = 6 * \mu_{app}$$

Ec.29

$$\mu_d = 637,36 \text{ Pa} * s$$

3.2.4.6 CALCULO DEL FACTOR DE FORMA PARA EL DADO:

- Factor de forma del dado

$$K_s = \frac{\pi * \left(\frac{D_d}{1000}\right)^4}{128 * \mu_d \frac{L_d}{1000}}$$

Ec.30

$$K_s = 1,095 * 10^{-8} m^5 / N.m$$

- Flujo de arrastre

$$Q_{corregido} = 1,38 * 10^4 m^3 / s$$

- Caudal máximo

$$Q_{max} = \frac{Q}{1000^3}$$

Ec.31

$$Q_{max} = 1,38 * 10^{-5} mm^3 / s$$

3.2.4.7 CÁLCULO DEL PUNTO DE OPERACIÓN DEL EXTRUSOR

$$Q_x = k_s * P_e$$

Ec.32

$$Q_x = Q_{max} - \frac{Q_{max}}{P_{max}} * P_e$$

Ec.33

- Presión de operación

$$P_e = \frac{Q_{max}}{k_s + \frac{Q_{max}}{P_{max}}}$$

Ec.34

$$P_e = 1,26 * 10^3 Pa = 0.0013 MPa$$

- Caudal de operación del extrusor

$$Q_x = k_s * P_e$$

Ec.35

$$Q_x = 1,38 * 10^{-5} m^3/s$$

$$Q_x * \rho_s = 4,87 kg/h$$

3.2.4.8 ELEMENTOS DEL DISEÑO DEL EQUIPO

Una vez analizadas todas las partes principales que componen el equipo extractor de aceite, con la finalidad de otorgar una visión exacta del equipo se realizaron tablas de resumen, detalladas a continuación.

- Parámetros geométricos

Tabla 13-3: Datos geométricos del tornillo.

Símbolo	Variable	Valor	Unidad
D_t	Diámetro del tornillo	40	mm
H_{ct}	Holgura del sistema camisa - tornillo	0.04	mm
H_t	Altura del hilo del tornillo	5.63	mm
b_t	Ancho del hilo del tornillo	3.68	mm
p_t	Paso del tornillo	18	mm
L_t	Longitud del tornillo	230	mm
L_t/D_t	Relación L/D (Corte bajo)	5.26	Ninguna
W_t	Ancho del canal del tornillo	17	mm
r_m	Radio medio del tornillo	17.68	mm
θ_t	Ángulo de hélice del tornillo	11.25	° grados
		20	rad

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

- Datos de la velocidad

Tabla 14-3: Parámetros de la velocidad del tornillo

Símbolo	Variable	Valor	Unidad
R	Flujo másico requerido	6	kg/h
D_{tp}	Diámetro del tornillo en pulgadas	1.61	In
H_{tp}	Altura del hilo en pulgadas	0.24	In
g_s	Gravedad específica del sésamo	0.67	ninguna
N	Velocidad de rotación del tornillo	60	Rpm

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

- Datos del flujo

Tabla 15-3: Parámetros del flujo en el sistema

Símbolo	Variable	Valor	Unidad
Q	Caudal volumétrico calculado	5,07	kg/h
γ_{app}	Razón de corte	143.75	$1/s$
μ_{app}	Viscosidad aparente newtoniana	106.23	$Pa \cdot s$
ΔP	Gradiente de presión en la extrusión	16.81	mPa
P_{max}	Presión máxima de extrusión	23.11	mPa

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

- Determinación de la potencia

Tabla 16-3: Datos del cálculo de la potencia del equipo

Símbolo	Variable	Valor	Unidad
a	Relación de aceleración	0.58	Ninguna
E	Potencia del motor	1.12	hP
E_{min}	Potencia mínima del motor	0.44	hP
E_{max}	Potencia máxima del motor	1.62	hP

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

- Cálculo de flujo a través del dado

Tabla 17-3: Datos del cálculo del flujo en el dado.

Símbolo	Variable	Valor	Unidad
D_d	Diámetro del dado	40	mm
L_d	Longitud abertura del dado	9	mm
μ_d	Viscosidad de la función	637.36	$Pa \cdot s$
P_e	Presión estática en el dado	0.0013	MPa

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

3.3 Proceso de producción

3.3.1 *Proceso de extracción de aceite*

Preparación de semillas

Previamente las semillas de nuez y sésamo se someten a una limpieza en seco, para liberarlas de polvo y cualquier impureza que puedan contener; una vez limpias se recomienda secarlas de forma natural con el fin de eliminar parte de la humedad que las semillas poseen; una opción puede ser colocarlas bajo el sol por tres horas.

Alimentación

Con las semillas listas se procede a alimentar la tolva en el caso de la nuez se debe realizar una previa reducción de tamaño en el caso del sésamo se alimenta directamente.

Extrusión

Una vez que se haya alimentado el equipo con el material suficiente el tornillo inicia con el proceso de extrusión, el cual mediante la presión ejercida y la temperatura que se genera por la fuerza de rozamiento, empieza a liberar el aceite de la semilla al mismo tiempo que elimina los residuos en forma de torta.

Filtración

El aceite liberado necesita pasar por una malla muy fina de filtración de acero inoxidable, la cual nos permite retener los sólidos aun presentes en el aceite extraído, con la finalidad de extraer un aceite de alta pureza.

Recolección de aceite.

Al final del proceso se mide la cantidad de aceite obtenido en el recipiente y se lo destina a diferentes usos.

3.3.2 Diagrama del proceso de extracción

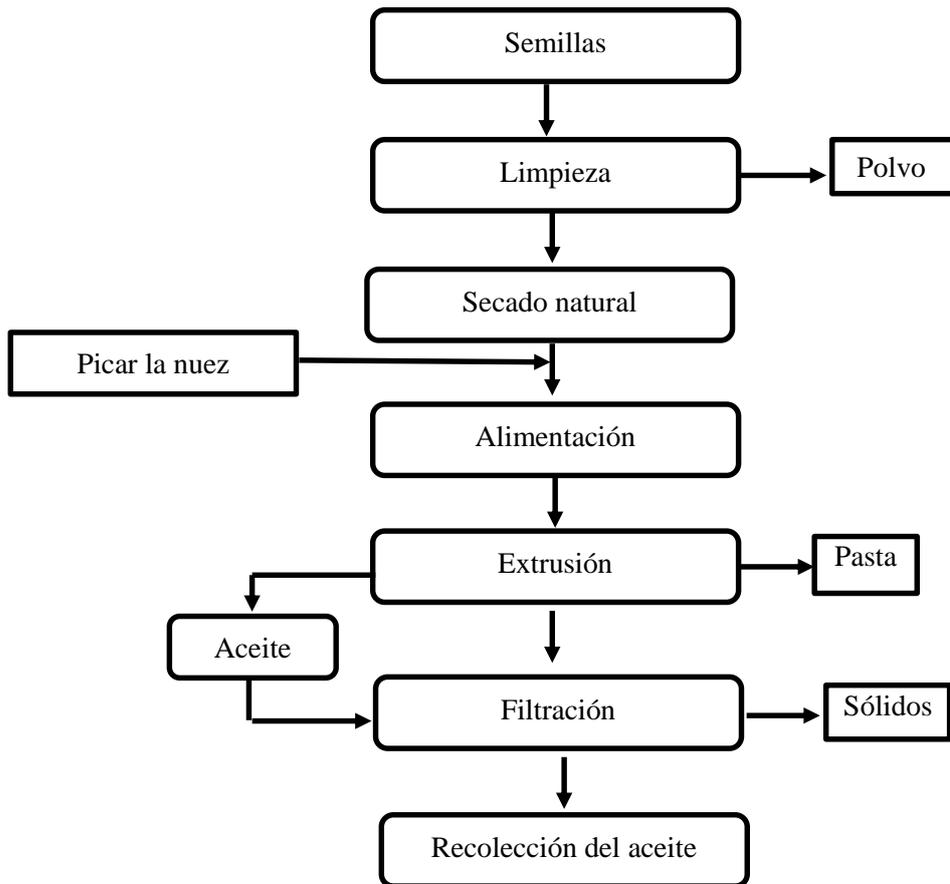


Diagrama 1-3: Diagrama del proceso de extracción
Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

3.4 Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria.

Los materiales seleccionados, deben ser de grado alimenticio y resistente a las altas presiones para evitar un costo extra en el mantenimiento.

El equipo durante el proceso de extracción se verá expuesto a un gran esfuerzo mecánico; soportará una carga de presión elevada y trabajará con semillas comestibles, razón por la cual la selección del material para la construcción del equipo será Acero Inoxidable AISI 304, el cual garantiza el trabajo adecuado del equipo.

- ✓ Acero Inoxidable AISI 304

El tipo 304 es un acero inoxidable austenítico bajo en carbono lo que evita la precipitación de carburos durante periodos prolongados de alta temperatura, el contenido máximo es de 0.08%. La aleación 304 tiene como mínimo 10.5% de cromo, es el tipo de compuesto más utilizado en la industria. Ofrece gran resistencia a la corrosión, buen comportamiento a altas temperaturas (800

– 900 °C), además de ser un material de larga vida útil, condiciones que garantizan que el equipo pueda soportar tiempos de operación de 24 horas o más.

Tabla 18-3: Características técnicas del acero inoxidable

Designación	Composición química	C% 0.08 Máx Mn% 2.00 Máx Si% 1.00 Máx Cr% 18 0020.00 Ni% 8 0010.50	
Propiedades Físicas	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	7.9	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²)	193 000	
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20 C (J/kg K)	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	a 100	16
		a 150	21
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO MEDIO (X 10 ⁶ C ⁻¹)	0100C	17.30
		0300C	17.80
0500 C		18.40	
0700 C	18.80		
INTERVALO DE FUSIÓN (C)		13981454	

Fuente: irestal Group. Tablas técnicas de acero inoxidable.

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

✓ Rodamientos

El uso de rodamientos en el equipo es fundamental, para brindar un soporte al eje que va a realizar el trabajo, y de esta manera evitar la fricción que se pueda producir con las piezas acopladas al equipo.

Se eligieron dos rodamientos radiales de bolas sellados para que brinden una mayor estabilidad en la ubicación del eje.



Figura 3-3: Rodamiento

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

✓ Motorreductor

Una vez analizadas todas las ventajas y desventajas de todos los posibles procesos de extracción, se escogió realizar el diseño con el proceso de extrusión, para lo cual se necesita un motor que sea el encargado de realizar el trabajo mecánico en el proceso, considerando que las revoluciones de un motor son muy elevadas y para el funcionamiento del equipo por parámetros de diseño se necesitan solamente 60 rpm, surgió la necesidad de acoplar un reductor al motor con el fin de aumentar la fuerza y brindar al proceso las condiciones óptimas para que realice su trabajo sin problemas de operación, por lo cual la mejor opción fue elegir un reductor acoplado directamente de fábrica, evitando así el uso de poleas que hacen que en el proceso se tenga pérdida de eficiencia y rendimiento.

El motorreductor elegido consta de tres partes: la carcasa que favorece ante el comportamiento de fatiga o vibraciones presentes en el proceso; el sinfín y la corona están acoplados bajo un excelente mecanizado consiguiendo así rendimientos altos y niveles de ruido bajos.



Figura 4-3: Motorreductor 2 HP
Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

3.4.1 Instrucciones para el uso del equipo.

- Limpiar el equipo y sus piezas procurando que el mismo quede totalmente seco antes de empezar con el proceso.
- Armar el equipo, en el dado colocar la pieza de menor diámetro.
- Activar el breaker de luz trifásica, y encender el equipo presionando el botón ON.
- Alimentar el equipo de manera continua.
- Dejar que el equipo realice su trabajo hasta que se observe la salida de aceite, parar el equipo y cambiar en el dado la pieza por la de diámetro medio, volver a encender el equipo.

- Recoger el aceite en el recipiente provisto de una malla de filtración, y la torta a la salida en otro recipiente.
- Una vez finalizado el proceso, es decir, cuando deje de salir tanto aceite como torta se apaga el equipo, pulsando el botón OFF.
- Medir la cantidad de productos obtenidos.
- Realizar la limpieza del equipo.

3.4.2 Validación del equipo

- Datos de validación

Los datos expresados en la Tabla 19-3 son los necesarios para la realización de los balances de materia y energía.

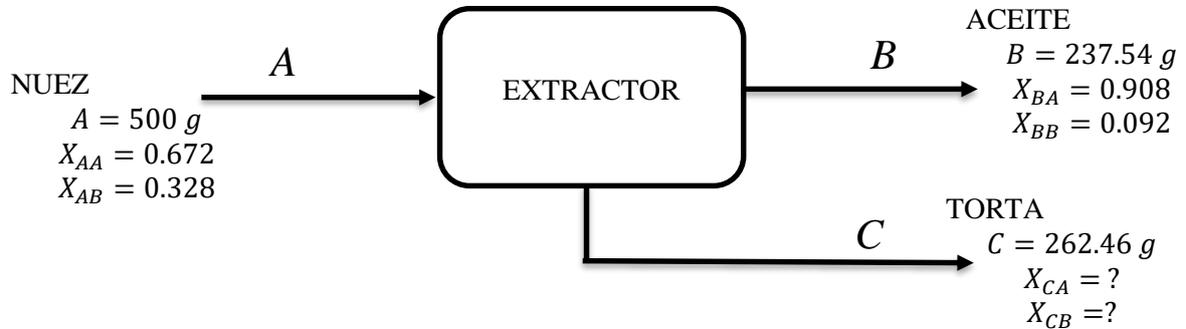
Tabla 19–3: Datos de Validación

Semilla	Entrada			Salida			
	Alimentación: A (g)	Cp (KJ/kg*K)	Tempe ratura °C	Aceite: B (g)	Torta: C (g)	Cp	Temperatura °C
Nuez	500	2981	19	237.54	262.46	3698.66	30
Ajonjolí	500	2514	19	150.88	349.12	3698.66	38
Datos Adicionales del equipo:			Área de transferencia: $3.1415 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$				
			Volumen: $2.89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$				
			Presión de trabajo: 23.11MPa				

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

3.4.2.1 Balance de materia

- Balance de materia: *NUEZ*



$$E + P + S + C = A$$

Ec.36

$$P = 0$$

$$C = 0$$

$$A = 0$$

En conclusión

$$E = S$$

Ec.37

Balance general

$$A = B + C$$

Ec.38

Balance por componentes

- *Componente A (Aceite)*

$$AX_{AA} = BX_{BA} + CX_{CA}$$

Ec.39

$$X_{CA} = 0.458$$

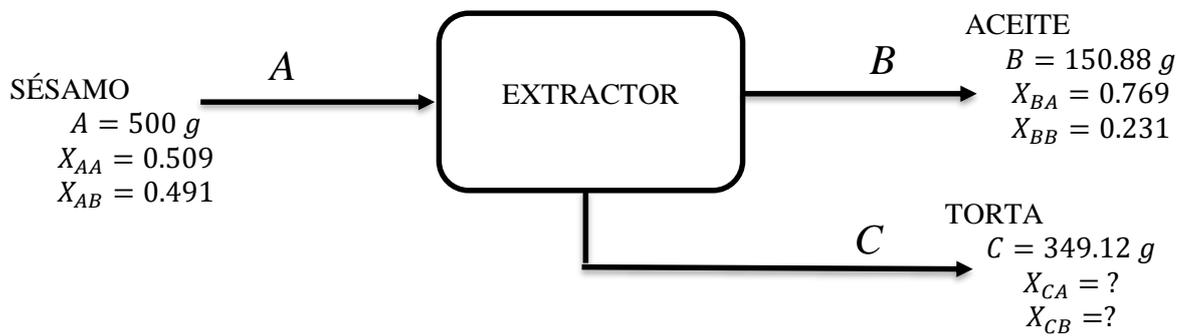
- *Componente B (Sólidos)*

$$X_{CB} = 1 - X_{CA}$$

Ec.40

$$X_{CB} = 0.542$$

- Balance de materia: *SÉSAMO*



$$E + P + S + C = A$$

Ec.41

$$P = 0$$

$$C = 0$$

$$A = 0$$

En conclusión

$$E = S$$

Ec.42

Balance general

$$A = B + C$$

Ec.43

Balance por componentes

- *Componente A (Aceite)*

$$AX_{AA} = BX_{BA} + CX_{CA} \quad \text{Ec.44}$$

$$X_{CA} = 0.397$$

- *Componente B (Sólidos)*

$$X_{CB} = 1 - X_{CA} \quad \text{Ec.45}$$

$$X_{CB} = 0.603$$

3.4.2.2 Balance de energía

Para el balance de energía se considera al equipo como un sistema abierto. Por lo tanto, se plantea la ecuación general:

$$Q + W = H + E_c + E_p \quad \text{Ec.46}$$

En el sistema se considera una velocidad constante y no existe una diferencia de altura, entonces:

$$E_c = 0$$

$$E_p = 0$$

$$Q + W = H \quad \text{Ec.47}$$

$$Q = H - W \quad \text{Ec.48}$$

Al calcular la energía interna se utiliza la ecuación para un sistema térmico estacionario planteado por Smith.

$$m_e C_p T_e - UA[T_s - T_{am}] - m_s C_p T_s = 0$$

Ec.49

- Balance de energía: *NUEZ*

$$U = \frac{m_e C_p T_e - m_s C_p T_s}{A[T_s - T_{am}]}$$

Ec.50

$$U = 585247,46 \text{ kJ}$$

$$Q = H - W$$

Ec.51

$$H = U + PV$$

Ec.52

$$Q = U + PV - W$$

Ec.53

$$Q = 167755,52 \text{ J}$$

$$Q = 167,75 \text{ kJ}$$

$$Q = 46,59 \text{ W}$$

- Balance de energía: *SÉSAMO*

$$U = \frac{m_e C_p T_e - m_s C_p T_s}{A[T_s - T_{am}]}$$

Ec.54

$$U = 3651021,81 \text{ kJ}$$

$$Q = H - W$$

Ec.55

$$H = U + PV$$

Ec.56

$$Q = U + PV - W$$

Ec.57

$$Q = 1019359,52 J$$

$$Q = 1019,52 kJ$$

$$Q = 283,2 W$$

3.4.2.3 Rendimiento

$$R = \frac{\text{cantidad de aceite extraído}}{\text{cantidad de aceite contenido en la materia alimentación}} * 100$$

Ec.58

- Rendimiento del proceso con la semilla de Nuez

$$R = 70.69 \%$$

- Rendimiento del proceso con la semilla de Sésamo

$$R = 59.28 \%$$

3.4.2.4 Tabla de resultados

Tabla 19-3: Resultados de los balances

SEMILLA	ENTRADA (A)			SALIDA (B)			SALIDA (C)			CALOR Q	REND.
	A(kg)	X _{AA}	X _{AB}	B(kg)	X _{BA}	X _{BB}	C(kg)	X _{CA}	X _{CB}	W	%
NUEZ	0.500	0.67	0.33	0.238	0.91	0.09	0.262	0.46	0.54	46.59	70.69
SÉSAMO	0.500	0.51	0.49	0.15	0.77	0.23	0.35	0.40	0.60	283.2	59.28

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

3.4.2.5 Caracterización del aceite extruido

Se tienen los datos de la composición proximal del aceite extraído, los mismos que se detalla en las tablas 20-3 y 21-3:

Tabla 20-3: Composición proximal del aceite nuez (g/100 g de alimento)

Grasa	99.70
Humedad	0.30

Fuente: Muñoz, M & Ledesma, J. (2002)
Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

Tabla 21-3: Composición proximal del aceite de sésamo
(g/100 g de alimento)

Grasa	99.80
Humedad	0.20

Fuente: Muñoz, M & Ledesma, J. (2002)
Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

Para la determinación de los ácidos grasos que contiene la materia prima se realiza un análisis de perfil lipídico, detallado a continuación:

Tabla 22-3: Perfil lipídico del aceite de nuez

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
ACIDOS GRASOS SATURADOS		
Ácido palmítico (C16:0)	%	11.56
Ácido caprílico (C8:0)	%	2.28
Ácido esteárico (C18:0)	%	2.26
Ácido caproico (C6:0)	%	0.82
Ácido lignocérico (C24:0)	%	0.56
ACIDOS GRASOS MONOINSATURADOS		
Ácido oleico (C18:1n9cis)	%	10.67
Ácido cis-10 heptadecenoico (C17:1)	%	2.47
Ácido nervónico (C24:1n9)	%	0.36
ACIDOS GRASOS POLIINSATURADOS		
Ácido linoleico (C18:2n6cis)(Omega 6)	%	17.62
Ácido linolénico (C18:3n3)(Omega 3)	%	3.41
Ácido eicosadienoico (C20:2n6)	%	0.88

Fuente: LABOLAB. Laboratorio de análisis de alimentos, aguas y afines. 2018

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

Tabla 23-3: Perfil lipídico del aceite de sésamo

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
ACIDOS GRASOS SATURADOS		
Ácido palmítico (C16:0)	%	8.48
Ácido esteárico (C18:0)	%	2.84
ACIDOS GRASOS MONOINSATURADOS		
Ácido oleico (C18:1n9cis)	%	13.83
Ácido palmitoleico (C16:1)	%	0.17
ACIDOS GRASOS POLIINSATURADOS		
Ácido linoleico (C18:2n6cis)(Omega 6)	%	26.43
Ácido linolénico (C18:3n3)(Omega 3)	%	0.26

Fuente: LABOLAB. Laboratorio de análisis de alimentos, aguas y afines. 2018

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

3.2.1.2 Caracterización física

Tabla 24-3: Caracterización física de la nuez

pH	4	-
Densidad	0.911	g/ml

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

Tabla 25-3: Caracterización física del sésamo

pH	3	-
Densidad	0.923	g/ml

Realizado por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

3.4.3 Discusión de resultados

El diseño del equipo inició con la investigación bibliográfica sobre las principales alternativas de extracción de aceite dejando principalmente dos alternativas, que eran: extracción con uso de solventes y extrusión. Mediante un análisis de ventajas y desventajas de cada método se determinó que el proceso de extracción más óptimo era el de extrusión. Una vez determinado el proceso se realizó la caracterización físico-química de las semillas establecidas, partiendo principalmente del tamaño de las semillas y cantidad de grasa presente en las mismas se plantearon los cálculos de diseño.

Una vez construido el equipo se realizaron simulaciones mediante las cuales obtuvimos datos reales, partiendo de una masa de alimentación a procesar de 0.5 kg, se recolectaron 0.237 kg de aceite y 0.262 de torta para el caso de la nuez, mientras que para el caso del sésamo fueron 0.150 kg de aceite y 0.349 kg de torta.

Con estos datos recaudados se realizaron los balances de masa y energía dando como resultado rendimientos del 70.69% y 59.28% para el proceso con Nuez y Sésamo respectivamente, por lo que se puede determinar como un rendimiento aceptable dentro del proceso. En los dos procesos existió un desprendimiento de calor en el sistema por la fuerza de rozamiento que se ejerce, siendo $Q = 46.59 \text{ W}$ para la Nuez y $Q = 283.2 \text{ W}$ para el sésamo, por lo que se concluye que se libera mayor cantidad de energía en el proceso con Sésamo debido a las características de la semilla.

Los rendimientos obtenidos se deben a que las dos semillas presentan diferentes características y éstas influyen de manera directa en el proceso, es por esta razón que en el caso de la Nuez gracias al mayor contenido de grasa y a sus características físicas se obtuvo un mejor rendimiento, a pesar de que en la torta aún está presente una cantidad remanente de aceite que representa el 45% del total de torta extraída.

3.5 Análisis de Costo/ beneficio

3.5.1 Costos de inversión

- **Recursos materiales**

Tabla 26-3: Equipo extractor de aceite

Denominación	Cantidad	Costo
Eje SAE 304 INOXIDABLE 2"	100 cm	120
Eje SAE 304 INOXIDABLE 2 ½"	50 cm	45
Eje SAE 304 INOXIDABLE 4"	1.5 cm	25
Tubo ACERO INOXIDABLE 2"	100 cm	60
Suelda tig	1	100
Tol de acero inoxidable	2.9 m ²	120
	TOTAL	470

Realizado Por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

Tabla 27-3: Accesorios

Denominación	Cantidad	Costo
Tornillos de acero inoxidable	18	20
Chumaceras de 1 ½"	2	30
Tornillos mariposa	4	3
Tubo cuadrado	2	40
Broca de acero inoxidable 5/16	2	10
	TOTAL	103

Realizado Por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

Tabla 28-3: Equipos

Denominación	Cantidad	Costo
Motor reductor 2 Hp 60 rpm	1	600
	TOTAL	600

Realizado Por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

- **Recursos Humanos**

Tabla 29-3: Mano de obra

Denominación	Cantidad	Costo
Mano de obra torneada	5	300
Mano de obra de construcción	1	400
	TOTAL	700

Realizado Por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

- **Costos operativos**

Tabla 30-3: Transporte

Denominación	Cantidad	Costo
Movilización	-	100
Transporte del equipo	-	100
	TOTAL	200

Realizado Por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

Tabla 31-3: Alimentación

Denominación	Cantidad	Costo
Semillas de nuez	10 kg	154
Semillas de sésamo	10 kg	66
	TOTAL	220

Realizado Por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

- **Recursos totales**

Tabla 32-3: Recursos totales

ACTIVIDAD	TOTAL
Recursos materiales	1173
Recursos Humanos	700
Costos operativos	440
TOTAL	2313

Realizado Por: Ríos, J y Salazar, D. 2018.

3.6 Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	TIEMPO																											
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Elaboración anteproyecto	■	■	■																									
Presentación y aprobación anteproyecto				■	■																							
Ejecutar la caracterización fisicoquímica de la materia prima semillas de sésamo y nuez						■																						
Diseño teórico y cálculos analíticos para la construcción del equipo de extracción de aceite							■	■	■	■																		
Construcción del equipo y determinación las variables de proceso, las operaciones y los parámetros óptimos para la obtención del aceite											■	■	■	■														
Validar el proceso mediante una caracterización física-química y microbiológica del aceite extraído según la Norma.															■	■	■											
Elaboración de borrador de Trabajo de Titulación																			■	■	■							
Corrección borrador de Trabajo de Titulación																				■	■							
Tipiado del trabajo final																					■	■	■					
Empastado y presentación del trabajo final																							■					
Auditoría académica																								■				
Defensa del trabajo																											■	

Realizado Por: Ríos, J y Salazar, D. 2018

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización físico-química de las semillas de nuez y sésamo con el fin de establecer parámetros fundamentales para el diseño del equipo, en el análisis físico se determinó el ph, siendo de la nuez 4 y del sésamo 6; densidad siendo 0.95 g/ml de la nuez y 1.019 g/ml del sésamo y tamaño 2.5 cm y 0.3 cm de la nuez y el sésamo respectivamente. En el análisis químico se realizó un perfil lipídico para conocer que ácidos grasos y en qué cantidad están presentes en las semillas, análisis que se encuentran en anexos. **Realizado Por:** Ríos, J y Salazar, D. 2018
- Una vez realizada la caracterización físico-química de las semillas se diseñó mediante cálculos de ingeniería un equipo para extraer aceite de sésamo (*Sesamum indicum*) y nuez (*Juglans regia*), dando como resultado las siguientes dimensiones para el tornillo; diámetro 40 mm, longitud del tornillo 230 mm, altura del hilo del tornillo 5.63 mm y ancho del hilo del tornillo 3.68 mm; la potencia máxima del motor requerida fue de 1.62 HP, razón por la cual se adquirió un motor reductor de 2 HP; se construyó el equipo basado en el diseño de ingeniería obtenido, eligiendo acero inoxidable AISI 304, luego de la construcción el equipo fue entregado al Laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.
- Se definió la variable de proceso dentro de la extracción de aceite, siendo ésta el flujo másico de 6 kg/h.
- Se realizó la validación del diseño de ingeniería a través de la norma NTE INEN 34:2012 la cual establece que “El aceite debe presentar un aspecto limpio a 25 °C, ser de olor y sabor agradables, no debe contener materias extrañas y sustancias que modifiquen su aroma y color”, con la finalidad de demostrar que los aceites obtenidos cumplen con los parámetros mencionados se realizó una caracterización a los mismos dando los siguientes resultados: aceite de nuez, color amarillo claro, olor y sabor característico del fruto, el contenido de ácidos grasos varió ligeramente en cuanto al aumento del ácido esteárico y la reducción del ácido linoleico. El aceite de sésamo de color ligeramente amarillo, olor y sabor característicos de la semilla, el contenido de ácidos grasos varió ligeramente al igual que la nuez en el aumento del ácido esteárico y la reducción del ácido linoleico.
- A través de los balances de materia y energía se realizó el cálculo del rendimiento del proceso con cada semilla, arrojando como resultados un 70.69% para el caso de la nuez y un 59.28%

para el sésamo, por lo que se concluye que se obtienen rendimientos altos en el proceso, pero obtener el mejor rendimiento dependerá de las características de las semillas; en el proceso por la fuerza de rozamiento ejercida a las semillas se evidencia un desprendimiento de calor siendo $Q = 46.59 \text{ W}$ para la nuez y $Q = 283.2 \text{ W}$ para el sésamo.

RECOMENDACIONES

- Para obtener un mejor resultado durante el proceso de extracción es recomendable eliminar previamente parte de la humedad presente en las semillas mediante un secado natural.
- Debido a que el aceite se obtiene con una pequeña cantidad de sólidos se recomienda realizar un proceso de separación posterior al proceso de extracción.
- Realizar el control automatizado de la unidad introduciendo un variador de velocidad con el fin de regular la velocidad de rotación del tornillo, para poder realizar experimentos sobre la extracción de aceite de semillas diferentes a las propuestas en el presente proyecto.
- Por parámetros de diseño cualquier semilla a introducirse en el equipo debe poseer un tamaño similar al tamaño del sésamo.
- Las semillas a trabajar deben estar en el rango de dureza entre la nuez y el sésamo.
- Investigar las posibles aplicaciones y usos que se le pueden dar al residuo procedente del proceso de extracción.
- Debido a que en el residuo de extracción aún se encuentra una determinada cantidad de aceite, se pueden investigar procesos para extraer dicho aceite de esta torta.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS CÓRDOBA, CARLOS A, CALVO HENAO, ERWIN y OCHOA JARAMILLO, JOSÉ I. *Métodos de extracción de aceite*. Scientia et Technica Año XIII, pág. 36.2007.

ASKELAND, Donald R. y PHULÉ, Pradeep P. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Mexico. International Thomson Editores S. A., 2004.

ASTM STANDARD B117. 1995. *Standard practice for operating salt spray apparatus*. s.l. American Society for Testing and materials, 1995.

ÁVILA , Javier y GENESCÁ, JOAN. *Mas Allá de la Herrumbe*. Mexico. Fondo de Cultura Económica, 1987.

CHAMPION, F.A. *Comportamiento frente a la corrosión de los aceros inoxidable AISI 430L P/M*. España Ensayos de corrosión.URMO. 1970

CORPAS, F. A., y otros. *Comportamiento Frente a la Corrosión en Ambiente Marino de Acero Galvanizado y Acero Galvanizado Pintado (Duplex)*, Boletín de la Sociedad española de cerámica y vidrio, págs. 193-195. 2003

DIAZ, J. E., y otros. *Ensayo de Niebla Salina*. Chile. Universidad de Cádiz. XVII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA. 2011

DOMINGUEZ, Jorge. *Introducción a la Corrosión y Protección de Metales UNS A92024 Y UNS A97075*. Cuba. ENPES. 13. Efecto de la corrosión en la resistencia a la tracción de las aleaciones. 1987

FERRER, Antonio, PINILLA, Carlos y CADENA, Evelio. *Diseño y Fabricación de una Cámara de Niebla Salina para Realizar Ensayos de Corrosión, Según la Norma ASTM B117 para el Laboratorio de materiales de la Fundación Universitaria Los Libertadores*. Bogotá, Colombia. Institucion Universitaria Los Libertadores, 2015.

GÓMEZ DE LEÓN HIJES, FÉLIX C y ALCARAZ LORENTE, DIEGO J. *Manual básico de corrosión para Ingenieros.* Murcia. Universidad de Murcia, 2004.

JIRADO TAJAN, NIDIA y PINZÓN CANDELARIO, MANUEL. *Nuez fruto semilla.* Scientia et Technica 2005.

NOTE, GALVINFO. *Ensayos de materiales en atmósferas simuladas.* Galvinfo center, págs. 1-5. 2007

NTE INEN 34:2012. Mezcla de aceites comestibles. Requisitos

OTERO HUERTA, ENRIQUE. *Corrosión y degradación de materiales.* España. TRABAJO DE TITULACIÓN, 2012.

REVELAN EL COSTO GLOBAL DE LA CORROSIÓN. [en línea]. Consulta: 28 de 12 de 2016. Disponible en: <http://www.inpralatina.com/201606146395/noticias/empresas/revelan-el-costo-global-de-la-corrosion.html>.

SMITH, William F. y HASHEMI, Javad. *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales.* Mexico: Mc Graw Hill, 2004.

VALE, J., CORTES, V. y MARTÍN, A. *Acero inoxidable en la industria.* Materiales de Construcción, págs. 53-67. 1983

VERA, R M y CAÑAS, F J. *Diseño y construcción de una cámara de niebla salina.* Información Tecnológica, págs. 53-58. 2005.