

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA EXTRUSORA DE
SEMILLA DE ALGODÓN CON EL GRANO DE HIGUERILLA**

**PEDRO ARTURO VELÁSQUEZ LÓPEZ
HECTOR DANILO QUIJANO TORRES**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA EXTRUSORA DE
SEMILLA DE ALGODÓN CON EL GRANO DE HIGUERILLA**

**PEDRO ARTURO VELASQUEZ LOPEZ
HECTOR DANILO QUIJANO TORRES**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

**ING. ALFONSO SANTOS JAIMES
DIRECTOR DE PROYECTO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

Notas de Aceptación

Firma de Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme nacer en un núcleo familiar en donde prevalece el respeto, la humildad y sobre todo la unión familiar.

A mis padres, que con su amor, comprensión y su apoyo me ayudaron afrontar los retos impuestos en este largo camino.

A mi esposa e hijo, los cuales fueron gran motivación e impulsaron mis últimos años de estudio para salir adelante.

A mis hermanos, que con sus consejos estuvieron presentes a lo largo de la carrera.

A todos los compañeros, que de una u otra manera me apoyaron y ayudaron en todo este tiempo.

PEDRO A. VELASQUEZ LOPEZ.

DEDICATORIA

A mis Padres, por su dedicación y enseñanzas en cada día de mi vida, lo cual fue fundamental en mi desarrollo académico.

A mi hermana Rocío y mi abuela por su apoyo incondicional durante todo mi proceso de aprendizaje.

A Hershey por sus consejos durante todo mi proyecto

A mis amigos.

Hector Danilo Quijano Torre

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. Por formarnos como ingenieros e inculcarnos los valores éticos y morales de un profesional Bolivariano.

ALFONSO SANTOS JAIMES, Ingeniero Mecánico. Profesor de la escuela de Ingeniería Mecánica y Director de Proyecto de Grado. Por guiarnos y darnos la confianza y el apoyo necesarios durante el desarrollo de este proyecto.

JUAN MANUEL ARGUELLO, EDWIN CÓRDOBA, EMIL HERNÁNDEZ ARROYO, JAVIER CASTELLANOS Y MIGUEL ÁNGEL, Docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica, quienes nos apoyaron y solucionaron inquietudes con sus amplios conocimientos.

VICTOR HUGO CUELLAR, Laboratorio de Ingeniería Industrial. Por su incondicional ayuda.

Contenido

OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
ALCANCES	18
JUSTIFICACION.....	19
1. MARCO TEÓRICO	20
1.1 HIGUERILLA	20
1.1.1 Estudio agronómico de la planta de higuera	20
1.1.2 Clasificación de la planta	22
1.1.3 Descripción de la familia	23
1.1.4 Descripción de la planta.....	23
1.1.5 Variedades	24
1.1.6 Cultivo de higuera	25
1.2 PRODUCTOS DE LA HIGUERILLA.....	26
1.2.1 Usos del aceite de higuera	26
1.2.2 Fruto y aceite de higuera	29
1.3 EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA.....	30
1.3.1 Proceso comercial de extracción de aceite de higuera por solventes Baer.	30
1.3.2 Proceso de extracción de aceite de higuera mediante decocción	31
1.3.3 Procesos de refinación del aceite de higuera	32
1.3.4 Proceso de extracción con prensas discontinuas.....	32
1.3.5 Proceso de extracción con prensas continuas	33
1.4 MECANISMOS DE PRODUCCIÓN DE ACEITE.....	33
1.4.1 Máquina pre-calentadora:.....	34
1.4.2 Máquina extractora de aceite:	34
1.4.3 Destilación por arrastre con vapor	34
1.5 NORMAS DE CALIDAD PARA BIODIESEL	34
1.6 DESCRIPCION DE LA MÁQUINA EXTRUSORA	36

1.6.1	Tornillo expeller	36
1.6.2	Canastilla de compresión	37
1.6.3	Bridas de ajuste	37
1.6.4	Cono de contrapresión	38
1.6.5	Sistema de calentamiento	39
1.7	APLICACIÓN DE EQUIPOS.....	40
1.7.1	Motor – Reductor	40
1.7.2	Soplador industrial	41
1.7.3	RTD.....	42
1.7.4	Sensor de humedad	43
1.7.5	Válvula solenoide	45
1.7.6	Sistema de acondicionamiento de señales	46
1.7.7	Sistema de protección	48
2	PRUEBAS REALIZADAS.....	52
2.1	SEMILLA Y PORCENTAJE DE CASCARA	53
2.2	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA MÁQUINA EXTRUSORA DE SEMILLA DE ALGODÓN CON EL FRUTO DE HIGUERILLA	57
2.2.1	Determinación de la eficiencia de extracción con la semilla de higuerilla en función de la temperatura y humedad	58
2.3	ANÁLISIS DEL ACEITE DE GRANO DE HIGUERILLA	61
3	MANUAL DE OPERACIÓN	62
3.1	SISTEMA MECANICO.	62
3.2	SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA	62
4	MANTENIMIENTO	64
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES.....	67
	RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD	67
	BIBLIOGRAFIA	68
	ANEXO A	70
	ANEXO B	76

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Grano de higuera	21
Figura 2: Descripción de la planta	25
Figura 3: Tornillo expeler	37
Figura 4: Canastilla de compresión	38
Figura 5: Bridas de ajuste	39
Figura 6: Cono de compresión	39
Figura 7: Tolva	40
Figura 8: Ducto de calentamiento	40
Figura 9: Resistencias eléctricas	41
Figura 10: Motor – reductor	42
Figura 11: Soplador industrial	43
Figura 12: RTD	43
Figura 13: Sensor de humedad	44
Figura 14: Válvula solenoide	46
Figura 15: SIMATIC S7-200	47
Figura 16: Relé solido	48
Figura 17: Relé electromagnético	48
Figura 18: Sistema de acondicionamiento de relés	49
Figura 19: interruptor termomagnéticos	49
Figura 20: Tacos termomagnéticos	49
Figura 21: Portafusibles	50
Figura 22: Breaker bipolar	50
Figura 23: Guardamotores	51
Figura 24: Agregando calor al sistema	52
Figura 25: Semilla descascarada	54

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Grafica 1. Relación de combinación de grano y cascara	55
Grafica 2. Ensayo de temperatura realizada a humedad del 10%	58
Grafica 3. Ensayo de temperatura realizada a humedad del 12%	59
Grafica 4. Ensayo de temperatura realizada a humedad del 14%	60

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Clasificación taxonómica de la planta higuierilla [2]	22
Tabla 2: Variedad más comunes de la planta higuierilla en Colombia. [2]	25
Tabla 3: Principales usos del aceite de higuierilla [5]	27
Tabla 4: Productos químicos derivados del aceite de higuierilla [5]	28
Tabla 5: Componentes de la semilla. [6]	29
Tabla 6: Norma EN 14214 [12]	35
Tabla 7: Normas ASTM 6751 [12].	36
Tabla 8: Relación de combinación de grano y cáscara	55
Tabla 9: Grano sin descáscarar	56
Tabla 10: Ensayo de temperatura realizada a humedad del 10%	58
Tabla 11: Ensayo de temperatura realizada a humedad del 12%	59
Tabla 12: Ensayo de temperatura realizada a humedad del 14%	60
Tabla 15: Temperatura y humedad ambiente	61

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A	70
ANEXO B	76

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA EXTRUSORA DE SEMILLA DE ALGODÓN CON EL GRANO DE HIGUERILLA

AUTORES: Pedro Arturo Velásquez López - Héctor Danilo Quijano Torres

FACULTAD: Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Alfonso Santos Jaimes

RESUMEN

La higuera es una oleaginosa, su aceite es utilizado en la industria de motores de alta revolución, en pinturas, lacas, plásticos, productos farmacéuticos, etc. Esta semilla produce un promedio de 40% a 50% de aceite, el subproducto es una torta rica en proteínas y su composición química indica que podría constituirse en un excelente forraje, al no ser por la presencia de una proteína tóxica llamada ricina que imposibilita su utilización en la alimentación animal.

Este proyecto busca determinar la eficacia de la máquina extrusora de semilla de algodón con el grano de higuera en el proceso de extracción, comparando el peso de grano procesado y el peso de aceite obtenido, también determinar si la eficiencia de la máquina se ve influenciada por el porcentaje de cascara que tenga el fruto a la hora del proceso de extracción.

Se obtendrán los parámetros de temperatura y humedad en donde el proceso de extracción proporcione la mayor cantidad de aceite, realizando diversas pruebas en donde se variaran estos dos parámetros. Al aceite obtenido se le realizó un análisis químico el cual determino si este es apropiado para la elaboración de biocombustibles.

El grano de higuera es suministrado al tornillo sinfín por medio de una tolva, a la cual llegará aire con temperatura y humedad controlada por medio de una resistencia y una válvula respectivamente, el grano almacenado en la tolva tendrá unos parámetros antes de pasar al proceso de prensado y después será recolectado tanto el aceite como la torta.

GENERAL INFORMATION OF THESIS PROJECT

TITLE: PERFORMANCE EVALUATION OF THE MACHINE EXTRUDER
COTTON SEED WITH THE GRAIN HIGUERILLA

AUTHORS: Pedro Arturo Velásquez López – Héctor Danilo Quijano Torres

DEPARMENT: Mechanical Engineering

DIRECTOR: Alfonso Santos Jaimes

ABSTRACT

The castor is an only, its oil is used in industry for high revolution engines, paints, lacquers plastics, pharmaceuticals, etc. This seed produces an average of 40% to 50% oil, the product is a cake rich in protein and chemical composition indicated that it could become an excellent forage to not for the presence of a toxic protein called riocina which precludes their use in animal feed.

This project seeks to determine the effectiveness of the extrusion machine cotton seed with the castor bean in the extraction process, comparing the processed grain weight and the weight of oil obtained also determine if the machine efficiency is influenced by the percentage of the fruit rind having at the time of extraction process. Will yield the parameters of temperature and humidity where the extraction process with the higher oil performing various tests in which these two parameters vary. Oil obtained was performed a chemical analysis which determined whether this is appropriate for the development of biofuels.

The castor bean is supplied to the auger by means of a hopper, reached at which air temperature and humidity are controlled by means of a resistor and a valve respectively, stored grain in the hopper will have some parameters before proceeding to the pressing process and then be collected both oil and cake.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se buscan diversas fuentes de generación de biocombustibles para con esto disminuir la contaminación generada por los combustibles fósiles (Petróleo- Carbón), alrededor de la extrusión de granos para la extracción de aceite, existen antecedentes en la Universidad Pontificia Bolivariana, a partir del diseño de una maquina extrusora de grano, se probó con semilla de algodón.

El grano de higerilla es una de las muchas fuentes de aceite vegetal y su proceso de extracción se puede llevar acabo en las instalaciones que se encuentran en el laboratorio de procesos de fabricación en el edificio I-305 de la Universidad Pontificia Bolivariana. La finalidad de este proyecto es encontrar los parámetros en los cuales se obtiene una mayor eficiencia en la producción de aceite de higerilla, variando la temperatura y humedad del grano. También se busca con la implementación de este proyecto ampliar el conocimiento acerca de este fruto y analizar el comportamiento de la maquina extrusora de semilla de algodón con este nuevo grano.

A nivel nacional el uso en la industria del grano de higerilla es poco, Según la Red de Investigación Participativa en el cultivo de higerilla en Colombia [2], inicialmente se emplea más en asuntos medicinales y se conocen algunas de sus propiedades y alto contenido de aceite que puede servir en la elaboración de biocombustibles, desaprovechando así su alto potencial

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el desempeño de la máquina extrusora de semilla de algodón, con el fruto de la higerilla mediante la realización de diversas pruebas en donde se variara la temperatura y humedad, para determinar su influencia en el proceso de extracción de aceite y evaluar su posible uso como materia prima para la elaboración de biocombustibles.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la eficacia del proceso de extracción de aceite a partir del fruto de la higerilla en la máquina extrusora de aceite para semilla de algodón, mediante la relación entre el peso de aceite obtenido y el peso de fruto procesado.
- Determinar si la eficiencia de la máquina extrusora de semilla de algodón se ve influenciada por la cáscara que tenga el grano de higerilla en el proceso de extracción, realizando pruebas en donde se variarán los porcentajes de recubrimiento del fruto.
- Obtener los parámetros de temperatura y humedad donde la eficiencia de extracción de aceite del fruto de higerilla es máximo, realizando ensayos para 4 temperaturas y 4 humedades diferentes.
- Determinar si el aceite obtenido del fruto de la higerilla puede ser utilizado como materia prima para la elaboración de Biocombustibles, mediante la realización de análisis químicos de humedad y acidez.

ALCANCES

Al concluir este proyecto se presentará un informe acerca de las diversas pruebas de funcionamiento que se realizaron en la máquina extrusora de semilla de algodón con el grano de higerilla, estará conformado principalmente por marco teórico, tabulaciones, graficas, análisis de resultados, recomendaciones y conclusiones.

JUSTIFICACION

A nivel mundial se están buscando nuevas formas de obtener energía a partir de las fuentes naturales renovables según la red de investigación participativa en el cultivo de higuera en Colombia [2], ya que la industrialización del mundo lleva a una escasez de los recursos que no son renovables, la Universidad Pontificia Bolivariana y su facultad de Ingeniería Mecánica no es ajena a esta creciente preocupación, por ello se realizará un estudio con el fruto de higuera para determinar sus condiciones mediante análisis estadísticos en un proceso de extracción, el cual se hará en una máquina extrusora de semilla de algodón que ya se encuentra instalada en la sede de la Universidad, con esto se busca ampliar las opciones en la búsqueda de materia prima en la elaboración de aceites que puedan servir para la creación de Biocombustibles.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 HIGUERILLA

La higuera es una planta tropical con un fruto duro que es utilizado para producir aceite se encuentra en forma silvestre en diversas regiones de Colombia y otros países tropicales como Ecuador y Brasil. Su cultivo presenta ciertas ventajas competitivas con respecto al cultivo de otras oleaginosas, entre los que se citan: menor cuidado, lo que redundaría en una disminución del tiempo de labor, menor cantidad de abono, puede ser sembrada como cultivo alternativo o acompañante de otros cultivos como el café y el banano. [1]

1.1.1 Estudio agronómico de la planta de higuera

El grano de higuera (ver figura 1), ha ganado importancia en los últimos años debido a las grandes posibilidades que tiene su aceite de ser utilizado como materia prima para la producción de una gran variedad de derivados incluido el biodiesel.



Figura 1: Grano de Higuera

Según la Red de Investigación Participativa en el cultivo de higuera en Colombia [2], esta última aplicación es fundamentalmente atractiva porque este aceite vegetal fruto de la planta de higuera no es comestible, razón por la cual no compite con la alimentación humana, como si sucede con otras materias primas fuente de biocombustibles como el maíz, la caña o la soya. Precisamente este aspecto ha suscitado en el mundo una gran controversia respecto de la conveniencia del uso de materiales alimenticios para producir energía. Puesto que la higuera no es comestible, su explotación se margina de esta polémica y solo se discute en su caso, la posible disminución de tierras destinadas a la producción de alimentos que pueda conllevar su cultivo a gran escala. No obstante, ya que para el cultivo de la higuera se puede utilizar tierras que no están siendo usadas o que tienen baja productividad para la siembra de alimentos, se puede evitar esta circunstancia negativa.

La utilización del fruto de la higuera para la extracción de aceite se conoce desde la antigüedad, pero la importancia del aceite como materia prima industrial ha aumentado con el tiempo. El aceite ricinoleico, principal componente del aceite de higuera, es una mezcla de triglicéridos usados, entre otras muchas aplicaciones, en la industria cosmética, industria farmacéutica, industria del plástico, como base para algunas resinas y como insecticida natural. Las hojas maceradas de la planta han sido utilizadas como repelentes de plagas en sembrados de café. La extracción de aceite deja residuos sólidos que se utilizan como abono orgánico, nitrogenado que puede reemplazar a la urea hasta en un 50% [2].

De acuerdo con los planteamientos de la Red de Investigación [2], las características agronómicas de Colombia permiten pensar en la higuera como un cultivo prospectivo para la producción masiva de biodiesel. También la higuera puede convertirse en una alternativa de diversificación o sustitución de cultivos que permitan mejorar las condiciones de vida de las zonas en conflicto.

Se conocen algunas investigaciones en desarrollo en la Universidad de Caldas, Corpoica y la Gobernación de Caldas donde se han probado cultivos de cuatro variedades de higuera. Los resultados de estas investigaciones han sido

fundamentales para iniciar a comprender y analizar el comportamiento del sistema productivo de higuera.

1.1.2 Clasificación de la planta

La taxonomía es una subdisciplina de la biología que estudia las relaciones de las especies y su historia evolutiva. El fin de la taxonomía es organizar al árbol filogenético en un sistema de clasificación. Para ello, la escuela cladística que convierte a los clados en taxones. Un taxón es un clado al que fue asignada una categoría taxonómica, al que se otorgó un nombre en latín, del que se hizo una descripción, al que se asoció a un ejemplar “tipo”, y que fue publicado en una revista científica. Cuando se hace todo esto, el taxón tiene un nombre correcto. La nomenclatura es la subdisciplina que se ocupa de reglamentar estos pasos, y se ocupa de que se atengan a los principios de nomenclatura.

Los sistemas de clasificación que nacen como resultado, funcionan como contenedores de información por un lado, y como predictores por otro. Esto permite conocer el origen genético de la planta para poder incidir de forma directa sobre su desarrollo en futuras intervenciones de mejoramiento de la especie para hacerla más resistente al ataque de plagas y/o aumentar su productividad.

Clasificación	Características
Reino	Plantae
Subreino	Traqueobionta (plantas vasculares)
Superdivisión	Spermatophyta (plantas con semillas)
División	Magnoliophyta (plantas con flor)
Clase	Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Subclase	Rosidae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	Ricinus
Especie	R. Communis

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la planta higuera [3]

La tabla 1 muestra la clasificación taxonómica de la planta higuera, está ubicada en el reino plantae de las plantas vasculares con semillas y flor. Esta clasificación conduce a la determinación de ciertas prácticas de mejoramiento y técnicas de cultivo que pueden ser extendidas desde otras especies similares a las de higuera.

1.1.3 Descripción de la familia

La familia de las Euphorbiaceae la conforman árboles, arbustos y plantas herbáceas a menudo con látex blanco. Las hojas normalmente son alternas, impares o a veces palmaticompuestas con estípulas. Las flores son regulares, unisexuales, sobre el mismo pie o en diferentes plantas. Normalmente consta de 0-10 sépalos libres o unidos, 0-10 pétalos y de 1 a muchos estambres. El fruto suele ser esquizocarpo, rara vez una drupa. Incluye la familia unos 300 géneros y alrededor de 5.000 especies mayormente distribuidas por los trópicos y también en zonas templadas. Tiene importancia económica mundial, pues algunas especies son productoras de numerosas sustancias utilizadas en la industria, tales como el caucho natural y diversos aceites. Muchas otras son cultivadas como ornamentales [4].

1.1.4 Descripción de la planta

La higuera (*ricinus communis* L.) es un arbusto que puede crecer hasta 6 metros de alto con savia acuosa, hojas alternas, largamente pecioladas, peltadas, palmatilobadas, acerradas. Inflorescencia en panículas terminales. Tallo engrosado, ramificado (figura 2). Las hojas son altas y alternas, con láminas casi orbicular, de 10 a 60 centímetros de diámetro, profundamente palmatilobada, las divisiones avado- ologas a lancioladas, agudas o acuminadas, borde irregularmente dentado- glanduloso; peciolo tan largo o más largo que la lámina: glándula entre lámina y peciolo [2]. Las flores están dispuestas en grandes inflorescencias, erguidas, que rematan los tallos con cáliz de 3-5 segmentos

valvados, apétalas; las masculinas con numerosísimos estambres con filamentos parcialmente unidos a la base, con un perianto de 6 a 12 milímetros de largo, el de las flores femeninas de 4 a 8 milímetros de largo, ovario densamente cubierto por largos tubérculos blandos, que parecen pelos gruesos.



Figura 2: Descripción de la planta

1.1.5 Variedades

Probablemente exista una gran cantidad de variedades de higuierilla en todo el país, ya que en los materiales silvestres se presenta una gran diferencia en el tamaño de la planta, el color, forma y tamaño de las semillas, el tamaño de los racimos, la forma de las hojas. Casi todos los autores hablan de una sola especie, *Ricinus communis* L. y de muchas características cada una bien definida. Sin embargo, hay cierta confusión entre las que pertenecen a una especie o a una variedad. Hasta el presente no hay hecho los estudios pertinentes para determinar la especie del género *Ricinus*, las variedades de la especie *R. communis* L., al igual que las subespecies y híbridos existentes en nuestro medio [4].

Actualmente se están realizando unos estudios por parte de CORPOICA en el departamento de Antioquia y de la Universidad de Caldas, que están evaluando algunos materiales que podrían ser los más indicados para la producción de higuierilla del país.

Variedad	Característica
Ricinus communis mayor	Es la mas común de todas, presenta hojas de color verde glauco, frutos numerosos casi esféricos e indehiscentes
Ricinus communis minor	De baja altura (1,0 a 1,5 metros), ramificada desde la base, precoz, con capsulas dehiscentes y semillas pequeñas, capsulas dehiscentes
Ricinus communis sanguineus	Ha sido intensamente cultivada en argentina. El tallo, las ramas y las hojas son de color rojo vinoso; de gran porte y muy vigorosa, posee semillas grandes y alto porcentaje de aceite.
R. communis var. Inermes	Parecida a la anterior pero de clima mas tropical. Las capsulas no poseen espinas. Poco contenido de aceite.
Ricinus communis viridis	Los tallos, peciolas y hojas jóvenes de color rojizo, que se tornan verdes a la madurez, se caracteriza porque los frutos no tienen espinas.
Ricinus communis zanzibarensis	Tallos rojizos y hojas grandes. Es ornamental Bolaños (1991) clasifica la higuierilla por su porte así [7]
	Variedades enanas: crecen a una altura de 1.6 metros. El periodo de siembra a cosechas es de 120 a 130 días.
	Variedades medianas: altura de estas plantas va desde 2 a 2,5 metros y se cosechan entre los 150 a 240 días después de sembrada

Tabla 2: Variedad Más Comunes De La Planta Higuierilla En Colombia. [3]

La tabla 2, describe las variedades de la planta higuierilla más comunes y estudiadas en Colombia. La identificación de estas variedades fue realizada en el año 1974 por Castañeda y Moreno. Dentro de las variedades anteriormente nombradas se resaltan las variedades de baja altura y poco follaje, ya que conducen a menor costo de mano de obra para la labor de recolección.

Las variedades comerciales que más se han investigado en Colombia son:

- Higuierilla BRS Energía.
- Higuierilla BRS 149 Nordestina

1.1.6 Cultivo de higuierilla

El cultivo de higuierilla inicia con la fertilización del suelo, para ello se debe inicialmente adicionar entre 50 y 70 Kg/ha de fósforo y entre 30 y 0 Kg/ha de potasio y nitrógeno; a los 25 días de sembrada la planta se aplican 50 Kg/ha de

nitrógeno. El terreno de cultivo debe estar limpio de malezas, para ello se recomienda utilizar herbicidas químicos, en pre o pos-emergencia o bien por medios mecánicos. El cultivo debe permanecer limpio, sobre todo en la fase de crecimiento. Por experiencias en Costa Rica se recomienda el uso de trifluralin (Treflan en dosis de 1 a 3 l/ha) incorporado antes de la siembra y se complementa su acción con un pase de cultivadora una vez establecido el cultivo. [5]

1.2 PRODUCTOS DE LA HIGUERILLA

1.2.1 Usos del aceite de higuera

Son innumerables las aplicaciones industriales del aceite de higuera que potencian sus posibilidades comerciales (ver tabla 3). El aceite de higuera es usado en la industria de pinturas y tintas, la industria papelera, la industria farmacéutica, la industria textil, la industria de cosméticos, la industria de lubricantes y la industria del plástico. Su versatilidad como precursor principalmente se debe a la presencia de un doble enlace en su estructura química, que hace del aceite de higuera un compuesto que puede ser fácilmente convertido en otros productos de mayor agregado. [6]

Se destacan las aplicaciones en la industria de los lubricantes, especialmente en lubricantes en la industria para aviones, jets y autos de carreras. También es de resaltar las aplicaciones en la industria de tintes y pinturas en su acción como resina y recubrimiento. La industria electrónica se beneficia en la elaboración de resinas aislantes de baja conductividad. En la industria del plástico el aceite de higuera actúa como precursor del Nylon 11, adhesivo y plastificante. Otra industria de gran perspectiva es la de los cosméticos, donde el aceite de higuera se usa como complemento para la fabricación de tónicos, champús y emulsificantes.

SECTOR DE USO	PRODUCTO	SECTOR DE USO	PRODUCTO
Agricultura	Fertilizante orgánico Semillas híbridas	Industria papelera	Antiespumante Aditivo a prueba de agua
Pinturas y tintas	Pinturas Barnices Lacas Removedores Poliolos Glicerina Resinas alquídicas Etc.	Farmacéutica	Antihelmíntico Anticaspa Emoliente Emulsificante Encapsulante Laxativo Acido undecilenico Etc.
Productos químicos para textiles	Materiales para terminados textiles Ayuda de tinturado Nylon, fibras sintéticas y resinas Etc.	Alimentario	Semillas con contenido de aceite entre 35 y 55 % Recipientes para alimentos Aditivo reducto de viscosidad Etc.
Electrónica y telecomunicaciones	Polímeros Poliuretano Aislamientos Aceite de higuera Esteres de aceite de higuera Poliolos	Lubricantes	Grasa lubricante Lubricante para aviones Lubricante para autos de carrera Fluidos hidráulicos Aceite de higuera hidrogenado. Ácido sebácico Etc.
Plásticos y caucho	Nylon 11 Películas plásticas Adhesivos Resinas sintéticas Plastificante Poliolos	Otros	Sellante Componentes de vidrios de seguridad Aceite de secantes Jabones Sales metálicas

Tabla 3: principales usos del aceite de higuera [6]

El aceite de higuera es un aceite no comestible, incluso tóxico para el ser humano. Pero por sus características químicas es más versátil que otros aceites, lo que le permiten ser usado como precursor de diferentes productos de la industria química. Gracias a su estructura única se favorece la producción de

diferentes materiales. En la tabla 4 se resumen algunas de las reacciones químicas para obtener los grupos funcionales que potencian la fabricación de productos utilizando aceite de higuera como materia prima [6]

	Naturaleza de la reacción	Reactivos adicionales	Tipo de producto
Ester	Hidrolisis Esterificación Alcoholisis Saponificación Reducción Amidación	Acido, enzimas Alcoholes Glicerol, glicoles Alcalinos, sales metalicas Na Alquil aminas	Acidos grasos, glicerol Esteres Mono y digliceridos, monoglicoles Jabones solubles e insolubles Alcholes Sales aminas, amidas
Doble enlace	Oxidación, polimerización Hidrogenación Epoxidación Halogenación Adición Sulfonación	Calor, oxígeno Hidrogeno, baja presión Peróxido de hidrogeno C12, Br2, 12 S., acido maleico H2SO4	Aceites polimerizados Hidroxiestearatos Epoxidized oils Aceites halogenados Aceites polimerizados Aceites sulfonados
Grupo hidroxilo	Dehydration, hidrolisis Fusión Pirolisis	Catalizador y calor NaOH Calor	Aceites de higuera dehidratado Acido sebácico, alcohol caprilico Acido undecilenoico, heptaldehido

Tabla 4: productos químicos derivados del aceite de higuera [6]

1.2.2 Fruto y aceite de higuera

Compuesto	%
Aceite	46,58
Almidón	20
Fibras Leñosas	20
Agua	7,09
Goma	4,32
Resina bruta y Principios amargos	1,51
Albumina	0,5
Total	100

Tabla 5: Componentes de la semilla. [7]

La Higuera (*Ricinus Communis L.*) se divide en muchas composiciones como se observa en la tabla 5, y pertenece a la familia de las Euforbiáceas, originaria de regiones tropicales, en nuestro país se encuentra ampliamente distribuida desde el nivel del mar hasta los 2700 msnm. Es una planta heliófila, es decir, requiere plena exposición solar, y puede soportar condiciones de sequía. De acuerdo con información suministrada por CORPOICA, el cultivo de esta semilla en Colombia actualmente está tomando auge por las políticas de apoyo, subsidios, zonas francas, etc. Las hectáreas cultivadas en Colombia son alrededor de 1000, las cuales se encuentran distribuidas principalmente en Antioquia, luego el Eje Cafetero (La Dorada, Magdalena Medio y Puerto Salgar) y otras en Cundinamarca y Santander. En estos departamentos se encuentran ubicados los centros de estudio y las industrias que están utilizando la higuera como materia prima en sus procesos. La demanda del aceite de higuera es comparativamente alta con respecto a la oferta, lo que muestra la importancia de iniciar el cultivo de este fruto en Colombia, sin embargo, actualmente no se tienen programas que incentiven el cultivo de grandes extensiones de este producto. Otra característica importante del aceite de higuera es que es un aceite no comestible, por lo tanto no compite con

la alimentación humana, gran crítica que se le ha hecho a otras materias primas como el maíz, la soya o caña que se utilizan como materia prima para la producción de biocombustibles. Actualmente en Colombia no se utiliza el aceite de higuierilla para producir biodiesel y/o otros derivados del aceite. Todo lo que se produce de semilla y aceite de higuierilla en Colombia se destina a exportación [8], dejando de lado los beneficios económicos que representarían transformar esa materia prima en productos de mayor valor agregado.

1.3 EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA

La semilla de higuierilla deber ser acondicionada para que pueda ser usada como materia prima para el proceso de producción de biodiesel o de aceite refinado de higuierilla. El acondicionamiento inicia con el secado de los frutos recolectados, luego pasa al descascarillado, tamizado, molienda, extracción, para terminar con el proceso de refinación. Todas estas etapas son fundamentales y deben ser optimizadas en campo para obtener los mejores rendimientos. De esta forma se puede obtener un aceite de buena calidad a un menos costo. La semilla llega al proceso de extracción para ingresar a una prensa de tornillo que opera continuo. [9]

1.3.1 Proceso comercial de extracción de aceite de higuierilla por solventes Baer.

El papel predominante de la extracción mediante solventes en los aceites vegetales comerciales es en gran parte económico. Las mayores eficiencias de la extracción por solventes consisten en la maximización de rendimientos y beneficios. Esta es la razón por la que se ha convertido en la forma más común de extraer el aceite. Uno de los procesos para la extracción del aceite de higuierilla, que más importancia tiene a nivel industrial, es el patentado por “BAER CASTOR OIL COMPANY”, en 1951, el cual está basado en una molienda de la semilla en

presencia de qué solventes y un posterior tratamiento de la mezcla para la recuperación de solventes.

A continuación se hará una descripción de un proceso continuo para la extracción de aceites de higuera a nivel industrial, esta descripción es la básica encontrada en un esquema de tres patentes con características generales de operación semejantes y con variaciones respecto al solvente utilizado o alguna fase de el empleo de solventes. Este proceso de extracción integra la molienda con el empleo de solventes, ejecutando ambos pasos en un mismo equipo y de manera continua, a fin de obtener unos rendimientos más altos, con una menor cantidad de solventes y empleando unos gastos energéticos menores. De esta manera se lograra obtener un aceite de alta calidad con una coloración superior y con un contenido de ácidos grasos libres bastantes reducido. Adicionalmente, este procedimiento tiene la ventaja que no requiere de una etapa de descascarado de la semilla, ya que los fragmentos de cascara de esta, mejoran el proceso de filtración posterior a la acción del solvente [10].

1.3.2 Proceso de extracción de aceite de higuera mediante decocción

La extracción del aceite de higuera, mediante un proceso de decocción, ha sido ejecutada tradicionalmente en la india, este método consiste en primero realizar una maceración de las semillas que han sido previamente descascaradas, para ser de donde se retira, para ser hervido de nuevo con una pequeña cantidad de agua, de esta manera es posible retirar el principio ácido del aceite. Muchas veces se suelen tostar las semillas antes del proceso, para incrementar la productividad del método. La ventaja de este método radica básicamente en su simpleza, pero sus desventajas se basan en que se debe controlar muy cuidadosamente la segunda evaporación, ya que si el aceite supera el 100°C. Y no se para el proceso antes que el agua se evapore completamente, el aceite se oscurece, se acidifica y se adquiere propiedades irritantes. [10]

1.3.3 Procesos de refinación del aceite de higuera

El proceso de refinación del aceite de higuera necesario para adecuarlo a las condiciones de elaboración de productos derivados de la higuera son la filtración y centrifugación. Con estas operaciones físicas se logra retirar el mucilago y diferente material particulado. Con el fin de mantener bajos el índice de acidez y humedad del aceite de higuera se realizan además operaciones químicas de desgomado y neutralizado. Otras operaciones como sulfonación, hidrogenación son utilizadas para adecuar el aceite a otras operaciones de transformación.

El desgomado es una operación cuyo objetivo es eliminar los fosfolípidos y los glicolípidos del aceite. Es importante el proceso debido a que sin este refinamiento, los triglicéridos se alteran con mayor facilidad y adquieren sabores y olores desagradables. El proceso consiste en tratar el aceite con agua o vapor, para que los fosfatidos se hidraten y precipiten al hacerse insolubles en la fase grasa. [10].

1.3.4 Proceso de extracción con prensas discontinuas

Actualmente, estas prensas solo se utilizan para obtener grasas y aceites que se producen en pequeñas cantidades. Los ejemplos más representativos son manteca de karita y la manteca de cacao. Las prensas consistentes en un cilindro perforado conocido como el "tamiz" (prensa de Tamiz). El tamiz es estabilizado con varillas, y el aceite se escapa por una abertura que se encuentra entre las varillas de tamiz. Se utiliza un pistón para elevar la presión dentro del tamiz, empujando un embolo hacia abajo en el contenido que debe ser prensado. Durante el prensado, la grasa se almacena en las bandejas dentro del tamiz, en conductos especiales. [11]

1.3.5 Proceso de extracción con prensas continuas

Este sistema de prensado se utiliza principalmente para obtener aceites vegetales naturales o prensados en frío. Ejemplos típicos de esta categoría son el aceite de algodón prensado en frío, el de girasol y el de cártamo y, cada vez más, el aceite de colza prensado en frío. Los dispositivos usados se denominan “prensas de husillo”, en las que el eje tiene forma de husillos continuo y cabe horizontalmente dentro de la prensa. Para aumentar la presión mientras se está prensando el material y compensar cualquier pérdida de presión, el diámetro de la cubierta del husillo se estrecha gradualmente en la dirección del recorrido. El husillo consiste normalmente de varios segmentos [11].

1.4 MECANISMOS DE PRODUCCIÓN DE ACEITE

En los países productores de aceite, la higuera generalmente se procesa por dos sistemas. En el primero se emplea la extracción mecánica en dos etapas, uno a baja temperatura para obtener el aceite de mejor calidad. En el segundo sistema se hace la primera operación por extracción mecánica y luego se extrae con disolventes.

De la extracción resultan dos tipos de aceites que se reconocen en el mercado internacional como aceite grado N°1 y aceite N°3.

- El N°. 1 procede de la primera expresión, seguida de filtración y blanqueado. Es de color claro brillante y de índice de acidez baja. También se le da el nombre de aceite de cristal y es el indicado para usos medicinales; comercialmente se le llama aceite de ricino.
- El aceite N°. 3 es el resultado de la segunda expresión o extracción. Resulta de color oscuro y con un índice de acidez alto.

Dado el hecho de que comercialmente la demanda del aceite de grado N°. 1 o aceite de ricino es mayor y los costos de su extracción son.

1.4.1 Máquina pre-calentadora:

Para ablandar la semilla de manera tal que quede lista para facilitar al máximo la extracción.

1.4.2 Máquina extractora de aceite:

Una especie de molino en el que se muele la semilla obteniendo una masa aceitosa

1.4.3 Destilación por arrastre con vapor

Consiste básicamente en la vaporización a baja temperatura de los componentes volátiles de una mezcla por introducción de una corriente directa de vapor de agua. Este ejerce la función doble de calentar la mezcla hasta ebullición, y disminuir la temperatura de ebullición, por sumar su presión de vapor a la del componente volátil, en este caso hexano. [12]

1.5 NORMAS DE CALIDAD PARA BIODIESEL

Los estándares y especificaciones técnicas establecidos en las normas de calidad existentes para el biodiésel se basan en una amplia variedad de factores que varían entre las distintas regiones. Aunque existen numerosas normas de calidad para el biodiésel, la mayor parte de ellas se basan en la norma europea EN 14214 y la estadounidense A.S.T.M D 6751.

Las diferencias entre ellas no solo incluyen los estándares de calidad considerados y los valores límite aplicados a cada uno de ellos, sino que también a los métodos de medida, que aunque en muchos casos se tratan técnicas similares, emplean procedimientos distintos que implican una difícil comparación entre los valores límite de los estándares. [13]

NORMA EN 14214

La norma , EN 14214 para los FAME utilizados como combustibles de automoción fue elaborada en 2003 por el Comité Europeo de Normalización (CEN) para establecer los límites de los estándares y métodos de medida para el biodiesel tanto para el combustible en su forma pura (B100) como para mezclas con diésel convencional. La norma CEN EN 590, que regula la calidad de los gasóleos y mezclas de hasta el 5% de biodiesel, establece que todo biodiesel mezclado en diésel convencional debe cumplir con los estándares de la EN 14214. En el siguiente recuadro (tabla 6), se mencionan algunos ítems o características. [13]

TABLA NORMA EN 14214			
Propiedad	Unidad	Límite	Método de ensayo
Contenido de agua	Mg/Kg	Máx. 500	EN ISO 12937
Agua y sedimentos	% volumen	----	No aplicable
Índice de acidez	mg KOH/g	Máx. 0,50	EN 14104

Tabla 6: Norma EN 14214 [13]

NORMA ASTM D6751

La norma, aprobada ASTM D6751 (tabla7) describe por tanto sólo las especificaciones técnicas del biodiesel en estado puro, de modo que, si el biodiesel cumple estos estándares y el diésel convencional las de su norma específica (2), ambos pueden ser mezclados y utilizados en los motores convencionales, con la única restricción de que el combustible obtenido finalmente contenga como máximo un 20% de biodiesel.

TABLA NORMA ASTM D6751			
Propiedad	Unidad	Límite	Método de ensayo
Contenido de agua	Mg/Kg	----	No aplicable
Agua y sedimentos	% volumen	Máx. 0,050	ASTMD2709
Índice de acidez	mg KOH/g	Máx. 0,50	ASTMD664

Tabla 7: Normas ASTM 6751 [13].

1.6 DESCRIPCION DE LA MÁQUINA EXTRUSORA

La máquina extrusora de Algodón la conforman 12 Piezas, que son: Tonillo Expeler, Canastilla de Compresión, Bridas de Ajuste, Cono de Contrapresión, Porta – Rodamientos, Sistema de Calentamiento, Tolva, Ducto de Calentamiento, Resistencia Eléctricas

1.6.1 Tornillo expeller

El tornillo expeler (figura 3) está diseñado para tener una alta eficiencia y un bajo costo, el tornillo esta específicamente diseñado para quebrar semillas de algodón en una sola operación y para todas las otras semillas oleaginosas en su quebrado final.



Figura 3: Tornillo Expeler [14]

1.6.2 Canastilla de compresión

La canastilla (figura4) la conforman dos partes en forma semicircular con platinas rectificadas para darles rigidez y especialmente para que resista las presiones internas, sujetas por Bridas tipo bisagra.

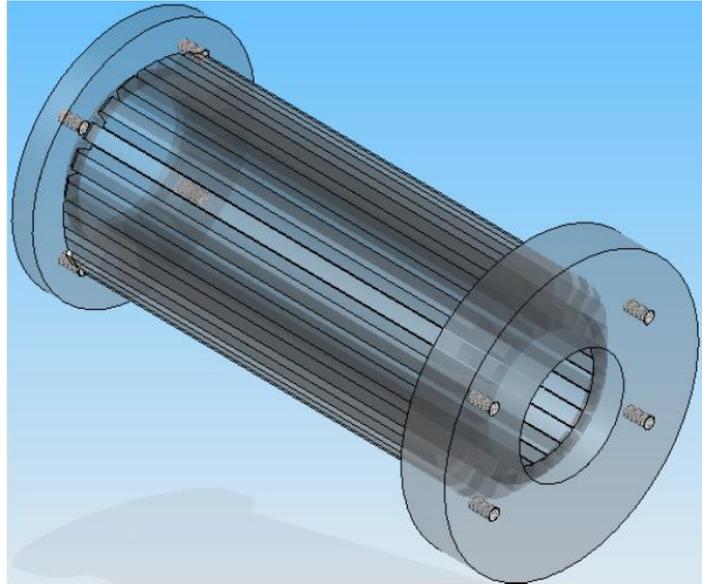


Figura 4: Canastilla de Compresión [15]

1.6.3 Bridas de ajuste

Las bridas de ajuste (figura 5) la conforman 4 piezas, la cuales son utilizadas para eliminar la fuerza radial ejercida en la canastilla a causa de compresión, sirve también como elementos de seguridad y controlan la no separación de las dos partes de la canastilla.



Figura 5: Bridas de Ajuste [17]

1.6.4 Cono de contrapresión

El cono de contrapresión (figura 6), es elemento utilizado para ejercer contrapresión al tornillo expeler, este cono se encarga de hacer presión a la masa acumulada del grano que va dirigido al final del tornillo para una mejor extracción de aceite.

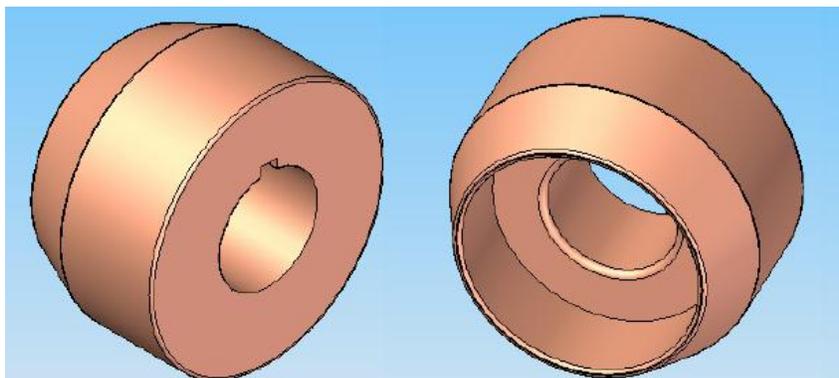


Figura 6: Cono de Compresión [17]

1.6.5 Sistema de calentamiento

Es diseñado para el calentamiento y humidificación del grano, antes de ser sometido al proceso de extracción.

1.6.5.1 Tolva

La tolva (figura 7) parte del sistema para almacenar el grano o semilla a la extrusora, con un ducto ubicado en la parte superior y al costado que deja pasar el aire con una humedad y temperatura definida.



Figura 7: Tolva [15]

1.6.5.2 Ducto de calentamiento

El ducto de calentamiento (figura8) es un Cilindro con sus extremos cónicos para la entrada de aire por medio de un Soplador industrial y el otro extremo que va conectado a la tolva.



Figura 8: Ducto de Calentamiento [15]

1.6.5.3 Resistencias eléctricas

Las resistencias (figura 9), se encuentran en la mitad y en el interior del ducto de calentamiento, cada resistencia tiene una potencia de 2000W y una alimentación a 220V, y son las que nos deja manipular la temperatura en el interior de la tolva.



Figura 9: Resistencias Eléctricas [15]

1.7 APLICACIÓN DE EQUIPOS

1.7.1 Motor – Reductor

Un motor es una maquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Existe una gran gama de motores, pero el principio de cualquier motor va a ser el mismo.

En el proceso de extracción de aceite se utilizo un motor trifásico que es el encargado de mover el tornillo expeler y un motor monofásico que pertenece al soplador que se utiliza para impulsar el aire caliente y húmedo a la semilla y un motor pequeño de corriente alterna que se utiliza para impedir que se atasque el grano de higuierilla en la entrada del tornillo expeler.

Un motor – reductor (figura 10) es un motor acoplado a un reductor, que sirve para disminuir la cantidad de revoluciones de forma mecánica, y es utilizado para la transmisión de giro al tornillo con una potencia de 4 HP, 1730 RPM y una reducción 40:1 para incrementar el torque y garantizar una mayor compresión. [17]



Figura 10: Motor – Reductor [15]

1.7.2 Soplador industrial

El soplador (figura 11), está incorporado en un extremo del ducto de aire, y tiene 1400 W de potencia, y consiste en transporta el aire a través de las resistencia para finalizar en la tolva.



Figura 11: Soplador Industrial [15]

1.7.3 RTD

Los instrumentos para medir la temperatura hacen uso de diversos fenómenos que se generan en los cuerpos al presentarse un cambio en la temperatura en estos, a continuación se mencionan algunos de estos fenómenos.

- Generación de una F.E.M, creada en la unión de dos metales disitntos (termopares)
- Variación de volumen o estado de los cuerpos (solido – gaseoso - liquido)
- Variación de resistencias en un conductor (Sondas de Resistencia o RTD)
- Variación de resistencia de un semiconductor.
- Intensidad de la radiación total emitida por un cuerpo (pirómetros de Radiación).

El RTD (figura12) es un instrumento que mide la variación de la resistencia en función de la variación de la temperatura. Este dispositivo esta constituido por un arrollamiento de hilo muy fino de un conductor adecuado, bobinado entre las capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámicas.

En el proceso de extracción de aceite con el grano de higuera se utilizó un RTD pt100 (Sonda de Resistencia de Platino de 100 ohmios a 0°C) de tres hilos, por su característica lineal y su precisión.

Es un elemento aplicado en el interior de la tolva dentro de un termopozo de acero inoxidable y es utilizado para medir la temperatura del grano. [18]



Figura 12: RTD [15]

1.7.4 Sensor de humedad

La humedad se define como la cantidad de vapor de agua contenido en el aire. Para hablar de humedad es preciso mencionar algunos términos que se utilizan para referirse a esta variable.

- Humedad absoluta
- Porcentaje de humedad
- Humedad relativa
- Temperatura seca
- Temperatura húmeda
- Punto de rocío

La humedad es una variable de suma importancia a nivel industrial, ya que se utiliza en el acondicionamiento de aire, en secadores, en humidificadores, en atmosferas protectoras para tratamientos térmicos, en la industria textil y otras aplicaciones.

El transmisor es un circuito electrónico diseñado de tal forma que la intensidad de corriente aumente linealmente dentro de un rango de 4 a 20 mA, de acuerdo al incremento de la humedad del 0% H.R al 100% H.R. La transmisión de señal al sistema de control se hace a través de dos hilos. La tensión de alimentación se encuentra en el rango de 7 – 30 VDC. La captación de la humedad puede ser recalibrada usando dos soluciones saturadas: la primera al 75% y la segunda al 33%. [18]

Instrumento utilizado para medir la humedad del grano (figura 13), está localizado al lado del RTD de la tolva.



Figura 13: Sensor de Humedad [15]

1.7.5 Válvula solenoide

La válvula (figura14) que se utiliza en el proceso de extracción de aceite con el grano de higuera es una electroválvula de accionamiento directo de 2/2 vías normalmente cerrada, modelo EV210B de Danfoss. Con esta válvula es manipulada con un dispositivo móvil a través de un solenoide, el cual al ser energizado permite la contracción de la pieza móvil permitiendo el paso del líquido a través de la válvula, esto debido a que la válvula es normalmente cerrada, o sea que su estado cuando no esta energizada es cerrada. [18]

La alimentación de la bobina de la válvula es 110 VAC (50Hz)/(115VAC) (60Hz), su rango de presión de operación es de 0 a 30 bar (o a 435 psi), soporta máximo una temperatura ambiente de 80 °C y una temperatura de fluido entre los -10 a los 90°C.

Una válvula en términos generales es un instrumento mecánico que utiliza una pieza móvil para regular el paso de cualquier líquido, ya sea de forma proporcional o en on/off. La pieza móvil puede ser accionada manualmente, neumáticamente o con el uso de una señal eléctrica [BIS]



Figura 14: Válvula Solenoide [15]

Las válvulas EVR son de acción directa o servo-accionadas para tuberías de líquido, de aspiración y de gas caliente con refrigeración fluorados.

1.7.6 Sistema de acondicionamiento de señales

En este sistema se utilizó un control SIMATIC S7-200 (figura 15) el cual genera señales de control (+ 24 VDC) el accionamiento de los elementos a final del proceso, este control maneja señales de potencia trifásica y monofásica. El sistema de control Simatic se acondicionaron a través de relés electromagnéticos y sólidos, con el fin de accionar los elementos a finales del control y a su vez proteger los equipos de potencia. [19]

La estructura general de un relé está constituida por un circuito de mando accionado por una tensión de control, seguido de un sistema de acoplamiento y por último un circuito de conmutación, el cual se acuerdo al estado de la entrada de control permite el paso de la alimentación hacia la carga de potencia operada.



Figura 15: SIMATIC S7-200 [15]

Los relés sólidos (figura 16) contienen dos circuitos eléctricos aislados galvánicamente mediante acoplados ópticos: el circuito de control y el de potencia.

El circuito de potencia se evalúa su configuración de acuerdo al tipo de señal que se trabaje para la carga. (Anexo 3)

En el caso del circuito de control utilizado con una señal de voltaje continua esta compuesta por un LED en serie con una resistencia. Estos relés se instalaron para elevar la potencia de consumo, como es el caso de las resistencias de calentamiento, soplador y los motores.[20]



Figura 16: Relé Solido [15]

Los relés electromagnéticos (figura 17) contienen una armadura de hierro y una bobina energizada para accionar un sistema de contactos eléctricos. Al recorrer un corriente a través de la bobina, la armadura es atraída por el núcleo de hierro. [21]



Figura 17: Relé Electromagnético [16]

Los dispositivos de señal, relés electromagnéticos y solidos (figura 18) se encuentran dispuestos en el gabinete de control ente la sección de control y el sistema de protección.

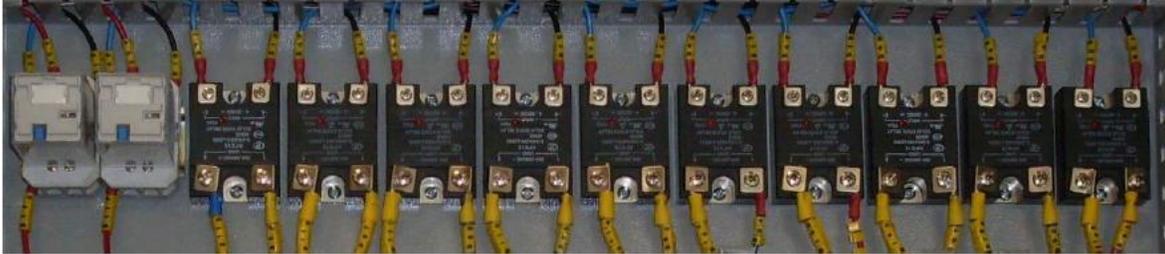


Figura 18: Sistema de Acondicionamiento de Relés [16]

Como fuente de alimentación la cual es indispensable para el funcionamiento de toda la maquina extrusora de aceite y la instrumentación del proceso y del sistema de control que a su vez requiere de su implementación para accionar los relés de estado solido y los relés electromagnéticos y se utilizo una fuente Siemens SITOP Modular. [20]

1.7.7 Sistema de protección

Este sistema esta construido con dispositivos que se utilizan como medio de conexión o desconexión de líneas instalación eléctrica (figura 19) y así se protege de sobrecargas o cortos circuitos, en el tablero de automáticos se instalaron tres protecciones para la posterior distribución al gabinete de control.

- **Interruptor termomagnéticos totalizado de caja moldeada**

Instrumento instalado en el tablero de automáticos para proteger la sobrecarga de energía y corto circuito la acometida trifásica del laboratorio de diseño y laboratorio de maquinas, donde se encuentra instalada la maquina extrusora. [16]



Figura 19: interruptor Termomagnéticos [16]

1.7.7.1 Tacos termomagnéticos enchufables

Este dispositivo (figura 20) es encargado de proteger contra sobrecargas o corto circuito. Cada fase de alimentación de las cargas es protegida a través de estos interruptores en el tablero de automáticos y posteriormente es distribuida a los elementos de protección implementados en el gabinete de control.



Figura 20: Tacos Termomagnéticos [15]

En el gabinete de control se instalaron las siguientes protecciones para los actuadores controlados.

1.7.7.2 Fusibles

Son dispositivos (figura 21) que sirven para proteger el sistema contra corto circuito, abriendo el circuito al producirse un flujo de corriente que supere su corriente nominal, son albergados por borneras portafusibles y se encuentran ubicados entre la fase de alimentación y la carga. Y son utilizados para proteger la válvula solenoide. [16]



Figura 21: Portafusibles [15]

1.7.7.3 Breaker bipolar

Interruptor (figura 22) que sirve para la protección de sobrecargas y/o cortocircuito implementado para proteger las dos fases empleadas para la alimentación de la fuente SITOP modular. [16]



Figura 22: Breaker Bipolar [15]

1.7.7.4 Guardamotores

Instrumento (figura 23) para proteger los motores eléctricos cuya finalidad es la protección de sobrecargas, cortocircuito y sensibilidad al fallo de fase. Están diseñados para soportar las sobre intensidades generadas en el arranque de los motores. Se encuentran dos guardamotores, uno para proteger el motor trifásico y el otro para proteger el motor monofásico. [16]



Figura 23: Guardamotores [15]

2 PRUEBAS REALIZADAS

Las pruebas iniciales se realizaron a una temperatura del grano de 60°C, 70° C y 80°C, con una humedad relativa de 10% para determinar la eficacia de la máquina de extracción de semilla de algodón con el fruto de higuera; no se obtuvo aceite debido a que el sistema (tornillo y canastilla) se encontraba a temperatura ambiente. Inicialmente se planteó que el cono de contrapresión estaba relacionado con la no obtención de aceite, se realizaron pruebas con una distancia del cono de 3,8 cm, 4 cm, 4,3 cm, 4,5 cm, 4,8 cm y 5,3cm, sin embargo los resultados fueron los mismos, no se obtenía aceite.

Posteriormente se decidió calentar la el tornillo y la canastilla hasta una temperatura de 70°C por medio de una pistola de calor (figura 24), la cual impulsa aire caliente; esto dio como resultado un mejor rendimiento en la extracción por parte de la máquina.



Figura 24: Agregando calor al sistema

Habiendo determinado que era necesario calentar el tornillo y la canastilla para poder obtener aceite, se realizaron pruebas donde se varió el porcentaje de fruto y cascara de ingreso en la tolva; con unos valores de 0%,10%, 20% y 30% de cascara. También se hicieron ensayos usando el grano sin descascarar. Cada una de las pruebas se realizó a temperatura y humedad ambiente del grano en la entrada de la tolva, se calentando el tornillo y canastilla a 70°C; cada una se ejecutó 5 veces. En el apartado 11.1 se determina cual fue la combinación de grano y cascara más eficiente para el proceso de extracción llevado a cabo en la máquina extrusora.

Teniendo la combinación adecuada de ingreso del grano, se procedió a variar las condiciones de temperatura y humedad de entrada en la tolva, con el fin de determinar cuáles de estos parámetros son los óptimos para el proceso de extracción, se realizaron ensayos a 60°C, 70°C y 80°C; y 10%, 12% y 14% de humedad. También se hicieron pruebas con estos dos parámetros a nivel ambiente. En el apartado 11.2.1 se especifica cuáles son los valores adecuados de ingreso del fruto en la tolva para su mayor eficiencia

2.1 SEMILLA Y PORCENTAJE DE CASCARA

La semilla de higuera fue suministrada por la empresa COLBIO, a la cual se le compro una cantidad de 40 Kg de grano de higuera, en el cual variaba el tipo de fruto, entre los que se encontraba Higuera negra e higuera jaspeada; gran parte del grano venia sin la cascara, se realizó una estimación por medio de la ecuación estadística:

$$\mu = \bar{X} (\pm) e$$

Dónde:

μ = Estimación

\bar{X} = Promedio

e = Porcentaje de error (%)

Donde el resultado es que en aproximadamente 500 gr hay 133.3 (\pm) 4 gr de semilla con cascara.

Después de calentar la canastilla, se separó manualmente la cascara del fruto (figura 25), ya que no se dispone de ningún otro medio en la Universidad para realizar este proceso.



Figura 25: Semilla descascarada

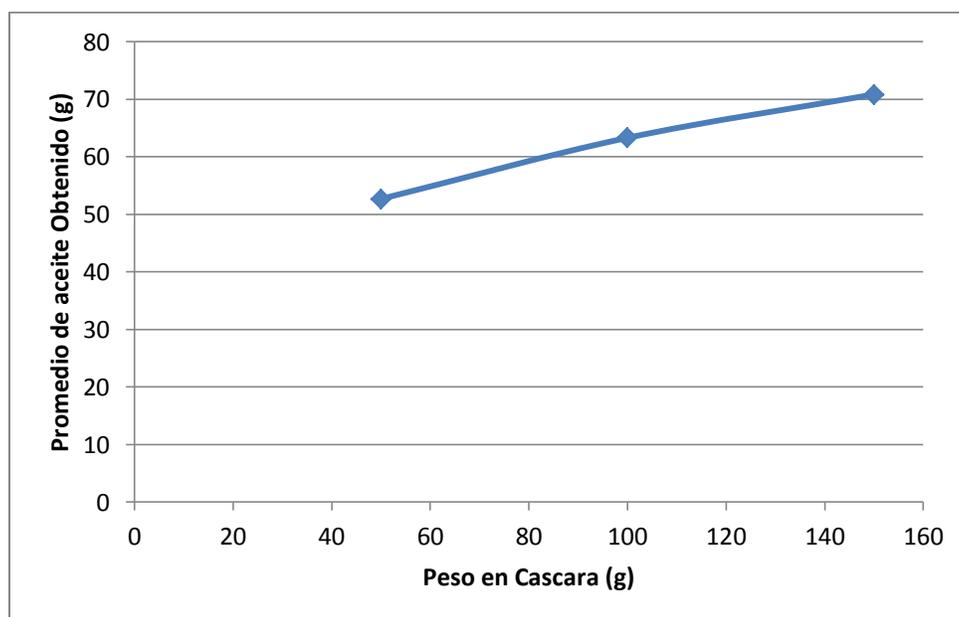
El mayor problema de realizar la separación de cascara del grano, fue el tiempo que este lleva.

Para determinar la mejor relación entre almendra y cáscara, se realizaron pruebas a temperatura y humedad ambiente del grano, se calentó la canastilla a 70°C y se varió el porcentaje de grano y cáscara. (Ver tabla 8).

Peso del grano (g)	Peso de la cascara (g)	Peso total (g)	Relación grano – cascara (%)	Promedio de Aceite obtenido (g)
350	150	500	70 – 30	70,82
400	100	500	80 – 20	63,28
450	50	500	90 – 10	52,66

Tabla 8: Relación de combinación de grano y cascara

Los cálculos para obtener los promedios están especificados en el anexo 1



Grafica 1. Relación de combinación de grano y cascara

La grafica 1 muestra los resultados experimentales obtenidos, donde se identifica que el porcentaje de grano y cascara si influyen en el proceso de obtención de aceite. Sin embargo estaban muy por debajo de lo deseado, que teóricamente oscila entre 42 y 47% de peso en aceite.

Posteriormente se decidió usar 500 gr de semilla como no los envió el proveedor, sin descascararlo (tabla 9).

Peso del grano (g)	Peso del grano con cascara (g)	Peso del aceite (g)
366,68	133,32	139,36

Tabla 9: Grano sin descascarar

Mejorando el valor obtenido de la cantidad de aceite extraído, se pasó de 70,82 gramos a 139,36 gramos, e identificando que el grano no necesita ninguna proceso de separación de cascara; por lo cual esta es la combinación adecuada.

Para determinar la cantidad de semilla con cascara, que hay en 500 gramos se hizo una estimación mediante la siguiente ecuación estadística:

$$\mu = \bar{X} (\pm) e$$

Dónde:

μ = Estimación

\bar{X} = Promedio

e = Porcentaje de error (%)

Dando como resulta que en 500 gr ha y 133.3 (\pm) 4 gr de semilla con cascara, este valor fue obtenido con un porcentaje de error de 3%, este valor fue tomado para obtener un numero de pruebas mayor de 4, con el fin de obtener un margen de bajo de error.

El valor tomado del porcentaje de error se encuentra explicado en el anexo A

2.2 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA MÁQUINA EXTRUSORA DE SEMILLA DE ALGODÓN CON EL FRUTO DE HIGUERILLA

La eficiencia de la máquina determina la relación que hay entre la masa de grano ingresado y la cantidad de aceite obtenido en gramos.

Se define por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{Peso del aceite}}{\text{peso de la semilla}} * 100$$

A continuación se exponen las diversas variables:

Dónde:

η = Eficiencia

Peso del aceite = cantidad de aceite obtenido en gramos

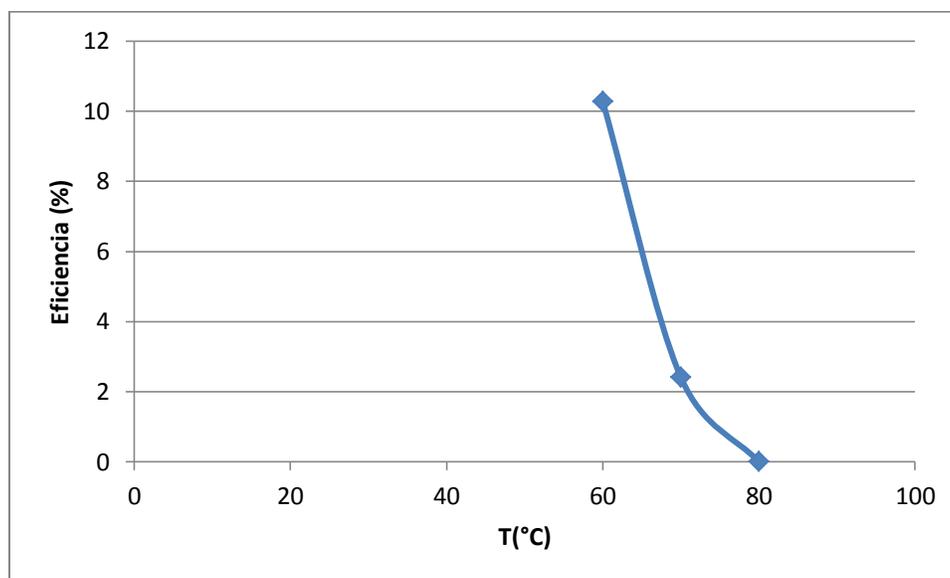
Peso de la semilla = cantidad de semilla suministrada en gramos.

2.2.1 Determinación de la eficiencia de extracción con la semilla de higuerilla en función de la temperatura y humedad

Las pruebas se realizaron a 10, 12 y 14 % de humedad (ver tablas 10,11 y 12), para las temperaturas de 60, 70 y 80 °C, estas propiedades se le dan al grano cuando se encuentra depositada en la tolva, todas las pruebas fueron realizadas con un precalentamiento en el tornillo expeler de aproximadamente 70°C, con el grano sin descascarar como lo sugiere el proveedor.

Temperatura (°C)	Cantidad de grano en la tolva (g)	Aceite obtenido (g)	Eficiencia (%)
60	500	51,38	10,276
70	500	12,06	2,412
80	500	0	0

Tabla 10: Ensayo de temperatura realizada a humedad del 10%

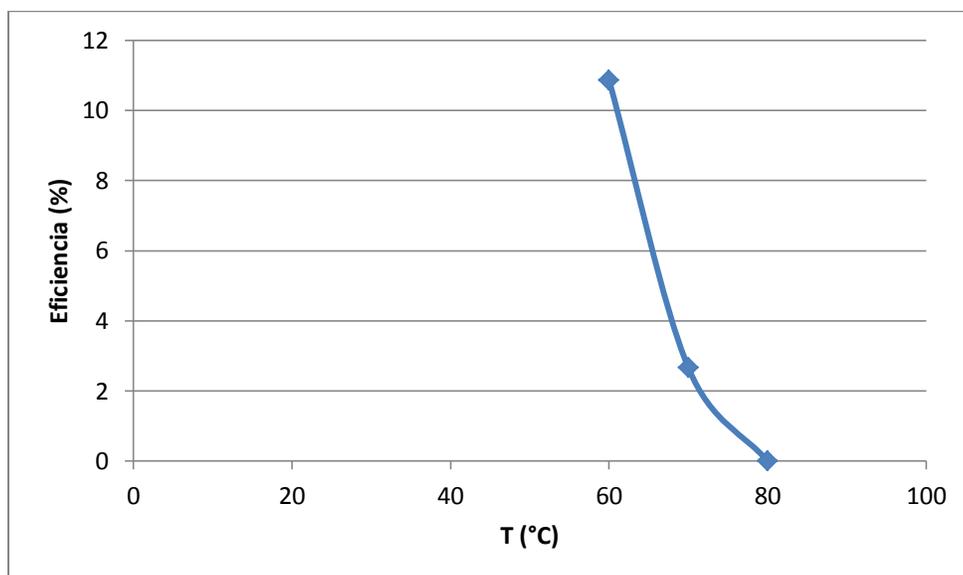


Grafica 2. Ensayo de temperatura realizada a humedad del 10%

La grafica 2 muestra la eficiencia obtenida con las diferentes temperaturas, 60, 70 y 80°C a una humedad fija del 10%.

Temperatura (°C)	Cantidad de grano en la tolva (g)	Aceite obtenido (g)	Eficiencia (%)
60	500	54,3	10,86
70	500	13,3	2,66
80	500	0	0

Tabla 11: Ensayo de temperatura realizada a humedad del 12%



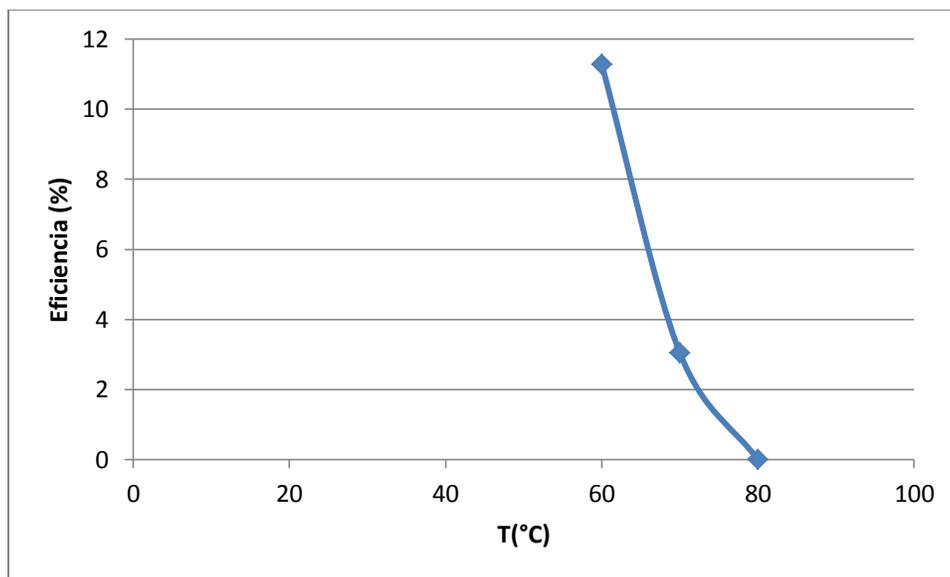
Grafica 3. Ensayo de temperatura realizada a humedad del 12%

La grafica 3 muestra la eficiencia obtenida con las diferentes temperaturas, 60, 70 y 80°C a una humedad fija del 12%.

Temperatura (°C)	Cantidad de grano en la tolva (g)	Aceite obtenido (g)	Eficiencia (%)
------------------	-----------------------------------	---------------------	----------------

60	500	56,36	11,272
70	500	15,24	3,048
80	500	0	0

Tabla 12: Ensayo de temperatura realizada a humedad del 14%



Grafica 4. Ensayo de temperatura realizada a humedad del 14%

La grafica 4 muestra la eficiencia obtenida con las diferentes temperaturas, 60, 70 y 80°C a una humedad fija del 14%.

Los datos obtenidos por parte de los diversos ensayos, (ver graficas 2, 3 y 4) nos muestran como la temperatura en el grano depositado en la tolva afecta drásticamente la eficiencia en el proceso de extracción por parte de la maquina extrusora, ya que en 60°C se obtuvo un 11% de eficiencia aproximadamente, y en 80°C no se obtiene aceite.

La humedad también influye en el proceso, pero de forma menos significativa, al 14% se logró un (1) punto más de eficiencia de la máquina, pasó de ser 10,276% a 11,272%. Sin embargo estos valores están por debajo de los que se obtuvieron con el grano a temperatura ambiente en la tolva.

Temperatura ambiente °C	Humedad ambiente (%)	Cantidad de grano en la tolva (g)	Aceite obtenido (g)	Eficiencia (%)
23 – 26	63 – .67	500	139,36	38%

Tabla 15: Temperatura y humedad ambiente

Según los valores obtenidos en la tabla 15 podemos afirmar que la mayor eficiencia en el proceso de extracción de aceite de higuierilla por parte de la maquina extrusora de semilla de algodón, se da con el grano a temperatura ambiente, suministrándolo como lo indica el proveedor y calentando el tornillo junto con la canastilla a una temperatura aproximada de 70°C.

Las imágenes de los residuos a diferentes temperaturas junto con los diversos ensayos se encuentran en el anexo B.

2.3 ANÁLISIS DEL ACEITE DE GRANO DE HIGUERILLA

Según los análisis de humedad y acidez realizados al aceite de higuierilla (ver anexo B), es apto para la producción de biocombustible, debido a que su composición, se encuentra dentro de los parámetros según la norma EN 14214.

3 MANUAL DE OPERACIÓN

Para un óptimo uso de la máquina extrusora de semilla de algodón con el uso del grano de higuierilla es necesario seguir los pasos descritos en los numerales 3.1 y 3.2.

3.1 SISTEMA MECANICO.

- Evalúe que los motores no estén expuestos a condiciones de humedad.
- Ajuste la válvula mariposa instalada en la entrada al ducto de calentamiento, de acuerdo a los requerimientos de la prueba.
- Verifique que no haya presencia de líquido en los puntos de conexión de las resistencias de calentamiento.
- Ubique la bandeja de recolección de aceite bajo el cilindro de extracción.
- Verifique la adecuada instalación de los instrumentos de medición instalados en la sección cónica de la tolva.
- Al finalizar la prueba al sistema de extracción se le debe realizar mantenimiento para retirar los residuos que se encuentran dentro del tornillo

3.2 SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA

- Evaluar el estado del interruptor tipo seta instalado en la puerta del gabinete de control que corresponde a la parada de emergencia y por ende al estar activado (Abierto) debe girarse y de esta manera se liberara. Posteriormente se debe retirar la tapa frontal del tablero de automáticos para rearmar el totalizador interruptor que se deshabilita al ser activado el parado de emergencia.
- Poner en ON los tacos termomagnéticos enchufables (Breaker) ubicados en el tablero de automáticos que alimentan la fuente de alimentación y los elementos finales de control.
- Encender el sistema a través del pulsador ON/OFF ubicado en la parte inferior de la sección lateral izquierda del gabinete de control.

- Activar el BR7 (Breaker 7) de protección de la fuente SITOP.
- Activar el BR8 (Breaker 8) de protección de la línea +24 VDC para la alimentación del sistema de control.
- Poner en ON los Guardamotores GM1 y GM2.
- Poner en RUN la CPU 224 XP a través del interruptor manual ubicado en la parte frontal del PLC, que a su vez se ubica en el gabinete de control.
- Ir a Mis documentos → Extrusora → Extruder. Este es el ejecutable en Runtime que ejecuta la HMI de la Maquina Extrusora Prensadora para la Extracción de Aceite.
- En el Menú Planta establecer el Set Point de cada variable del proceso (Temperatura – Presión y Humedad).
- Finalmente en el Menú Planta de la HMI dar Click en START.
- Al finalizar la prueba dar Clic en STOP y posteriormente en da clic en el icono con la imagen de una casa, que abre la ventana principal y allí se da clic sobre el botón salir.
- Poner la CPU en modo STOP a través del interruptor manual ubicado en la parte frontal del PLC.
- Apagar el sistema con el pulsador ON/OFF y desactivar BR7, BR8, GM1 y GM2.
- Ante alguna emergencia pulsar el interruptor tipo seta ubicado en la parte inferior derecha de la puerta del gabinete de control.

4 MANTENIMIENTO

Después de haber operado la maquina extrusora se debe realizar el mantenimiento de la misma, el cual consiste en el desarme de las bridas de ajuste, la canastilla y el cono de contrapresión. Para garantizar el mismo desempeño en cada una de las pruebas; Se hacen necesarios los siguientes pasos:

1. Verificar la herramienta necesaria para el desmontaje de todos los tornillos que tiene cada parte de la máquina.
2. Al realizar el desmontaje de la máquina, se hace necesario ropa adecuada, como bata, gafas y guantes.
3. Se procede a soltar las bridas que le dan la compresión a la canastilla.
4. Aflojar los tornillos de la parte inferior de la canastilla para después soltar los tornillos superiores de la misma, con esto logra liberar la parte de arriba de la canasta.
5. Luego, de librar la canastilla superior proceda a soltar por completo los tornillos de la canastilla inferior para que esta pueda ser retirada.
6. Después de tener las dos canastillas fuera de la máquina, se prosigue a soltar el cono.
7. Si en el momento de desarme se encuentra las canastillas con torta maciza, se prosigue a limpiar cuidadosamente con una espátula.
8. Si las canastillas se encuentran con la torta seca, se limpia con estopa o un esponjilla metálica.
9. Lave las canastillas con varsol para la eliminación de grasa, y con un alambre delgado limpie las rendijas.
10. Retire los residuos que puedan quedar en el tornillo con una esponja seca.

CONCLUSIONES

1. La máquina extrusora de semilla de algodón permite también obtener aceite de otro tipo de grano como lo es la higuera.
2. No es necesario separar la semilla de la cascara, utilizándola como no la suministro el proveedor (sin descascarar) se obtuvieron los mejores resultados.
3. La máxima eficiencia obtenida por parte de la extrusora fue de 38% este valor está por debajo de la literatura encontrada, en donde esta oscila entre 42 y 47%, esto se debe a las pérdidas que se presentan en la canastilla, teniendo en cuenta que no fue diseñada para este grano.
4. La temperatura y la humedad del grano en la tolva presentan un comportamiento inversamente proporcional respecto a la eficiencia, a menor temperatura y mayor humedad se obtuvo un mejor rendimiento.
5. La temperatura representa un parámetro más significativo que la humedad debido a que esta afecta de forma más significativa el proceso de extracción como lo muestran las gráficas 2, 3 y 4.
6. No es necesario realizarle ningún procedimiento de separación de cascara al grano antes de someterlo al proceso de extracción.

7. No se debe agregar temperatura a la semilla antes del proceso de extracción, ya que esta se hará más blanda, debido a que su composición es alta en aceite, lo cual hará que ocupe menos espacio entre el tornillo expeler y la canastilla, impidiendo una óptima compresión del sistema.

8. Para lograr obtener aceite de la extrusora es necesario agregar temperatura al tornillo expeler, con esto se logra que el calor transferido sea del tornillo al grano para aumentar la viscosidad del aceite en el fruto y no del fruto al tornillo como se plantea inicialmente.

9. El comportamiento de la maquina con el nuevo grano representa un menor consumo energético del equipo, comparado con el fruto de algodón, ya que no es necesario utilizar el soplador ni las resistencias que calentaban el aire para darle condiciones de entrada a la semilla en la tolva.

10. El aceite de higuierilla obtenido por parte de la maquina extrusora cumple con la norma EN 14214, lo cual nos indica que puede ser utilizado en la elaboración de biocombustibles. El resultado del análisis se encuentra en el anexo 2

RECOMENDACIONES

- Adecuar un sistema de calentamiento el cual podría ser una resistencia interna que proporcione calor al tornillo expeler antes de iniciar el proceso de extracción.
- Modificar o diseñar unas nuevas canastillas, debido que las actuales conceden muchas pérdidas de aceite por medio de las rendijas, debido a que estas cuentan con gran área de salida.
- Agregar el grano a la tolva sin descascarar como lo indica el proveedor, para obtener la mayor eficiencia posible

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- No tocar la maquina con las manos descubiertas mientras esté en funcionamiento ya que puede causar quemaduras.
- Por ningún motivo trate de alimentar el prototipo de extracción manualmente o trate de presionar la masa con la mano; en caso de obstrucción detenga la máquina, remueva la obstrucción y enciéndala nuevamente.
- Utilice los elementos de protección y ropa adecuada para operar la máquina, debido a estará expuesto a condiciones que puedas causarle algún daño.
- Asegúrese de que el sistema de extrusión quede bien ajustado para que pueda haber compresión en el proceso

BIBLIOGRAFIA

1. Higueroil de Colombia. <http://www.higueroil.com>
2. Franco, G., A. A. Navas, and V.A. Bermúdez, Red de Investigación Participativa en el cultivo de la higuierilla (*Ricinus communis* L.), en Colombia. Proyecto: evaluación de ambientes y materiales de higuierilla para la producción de aceite y biodiesel. 2007
3. Rzedowski, G.C. and J. Rzedowski, eds. Flora fanerogámica del valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. 2001: Michoacán, México
4. Osorno, G. G., Colección de Higuierilla (*Ricinus* spp) en el Departamento de Antioquia, in Agronomía. 1998, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
5. Castañeda, G. and F. Moreno, El cultivo de la higuierilla (*Ricinus communis* L.) y su industrialización en Colombia, en Agronomía. 1974, Universidad Nacional de Colombia: Medellín. p.67.
6. Ogunniyi, D. S., review Paper Castor oil: A vital industrial raw material. Bioresource Technology, 2006. N° 97: p. 1089-1091
7. Franco, G., A. A. Navas, and V.A. Bermúdez, Red de Investigación Participativa en el Cultivo de la Higuierilla, En Colombia. Proyecto: Evaluación de ambientes y materiales de higuierilla para la producción del aceite y biodiesel. 2007.
8. Proexport. Proexport Colombia. 2008 [cited 2008; available from: www.proexport.com.co
9. Andrade, T., et al., Viabilidades técnica e econômica para implantasao de uma micro usina de extrasao de óleo de mamona. BAHIA ANALISE & DADOS, 2006. 16: p. 133 - 141.
10. Refil, Arcillas decolorantes: Industria Alimenticia. 2008.

11. López W. A. Determinación de la Influencia de la presión en un proceso de extracción de aceite de semilla de algodón. Proyecto de grado, Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, 2008.
12. Varela G., Raúl. El cultivo de la Higuera. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 1974.
13. AMBISOL.ES <http://www.ambisol.es/index.php?Tema=detallen&id=418>
14. Cardona, Carlos., Orrego, Carlos. Gutiérrez. Luis Fernando Mosquera. LA HIGUERILLA UNA ALTERNATIVA AGROINDUSTRIAL, Manizales, Caldas, Colombia. Julio 2009. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. ISBN: 978 – 958 – 44 – 5456 – 0. N° pg. 92.
15. Sarmiento, Román., Llorente, Jaime. ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD EN UN PROCESO DE EXTRACCION DE ACEITE DE SEMILLAS VEGETALES, Bucaramanga, Santander, Colombia. Julio 2008. Universidad Pontificia Bolivariana, sede Bucaramanga.
16. Arias, Juan José., Olarte, Leidy Johana. INSTRUMENTACION Y AUTOMATIZACION DE UNA MAQUINA EXTRUSORA – PRENSADORA PARA LA EXTRACCION DE ACEITE DE LA SEMILLA DE ALGODÓN, Bucaramanga, Santander, Colombia. Marzo 2009. Universidad Pontificia Bolivariana, sede Bucaramanga.
17. Creus sole, Antonio. Instrumentación Industrial. Sexta edición. Barcelona, España: Marcombo, 1997. 741pg.
18. Gefran. Pressure Sensors for High Temperature: User's Manual Code 85184A. Segunda Edición. Italia: Noviembre, 2008. 4p
19. Barcells, José., Barcells, Josep., Interferencias Electromagnéticas en Sistema Electrónicos. Barcelona: Marcombo, 1992. P. 193 – 194.
20. Fowler. Richard, Electricidad: Principios y Aplicaciones. Barcelona: Reverte 1994. 140 p.

ANEXO A

Para determinar el porcentaje de error utilizado en la ecuación de estimación de cascara del grano en 500 gramos, fue necesario determinar una confiabilidad y un porcentaje de error, los cuales fueron 95% y 3% respectivamente, para con esto hallar un número de pruebas las cuales nos garanticen estos parámetros.

La ecuación estadística usada fue:

$$\eta = \frac{z^2 * s^2}{e^2}$$

Dónde:

η = Numero de pruebas

Z= factor de confiabilidad (1.96)

S = desviación estandar

e = porcentaje de error

El resultado de η fue igual 5 ($\eta = 5$), este valor fue usado para determinar el número de veces de cada prueba, tanto de porcentaje de cascara como de los valores de temperatura y humedad.

pruebas realizadas con 10% de cascara

Pruebas	Peso del grano (g)	Peso de la cascara (g)	Peso del aceite (g)
1	450	50	52,3
2	450	50	53,4
3	450	50	51,8
4	450	50	52,7
5	450	50	53,1
Promedio			52,66

pruebas realizadas con 20% de cascara

Pruebas	Peso del grano (g)	Peso de la cascara (g)	Peso del aceite (g)
1	400	100	63,2
2	400	100	64
3	400	100	62,5
4	400	100	63
5	400	100	63,7
Promedio			63,28

pruebas realizadas con 30% de cascara

Pruebas	Peso del grano (g)	Peso de la cascara (g)	Peso del aceite (g)
1	350	150	70
2	350	150	72,6
3	350	150	69,7
4	350	150	71,3
5	350	150	70,5
Promedio			70,82

Pruebas realizadas con las condiciones recomendadas por el proveedor

Pruebas	Peso del grano (g)	Peso del grano con cascara (g)	Peso del aceite (g)
1	362,6	137,4	140,3
2	368,3	131,7	138,1
3	364,6	135,4	139,4
4	371,1	128,9	141,2
5	366,8	133,2	137,8
Promedio	366,68	133,32	139,36

pruebas a 60°C y 10 % humedad

Temperatura (°C)	Cantidad de grano (g)	Aceite Obtenido (g)	Eficiencia (%)
60	500	51,3	10,26
60	500	50,9	10,18
60	500	50,2	10,04
60	500	51,5	10,3
60	500	53	10,6
Promedio		51,38	10,276

pruebas a 70°C y 10 % humedad

Temperatura (°C)	Cantidad de grano (g)	Aceite Obtenido (g)	Eficiencia (%)
70	500	12,8	2,56
70	500	11,7	2,34
70	500	11,5	2,3
70	500	12,3	2,46
70	500	12	2,4
Promedio		12,06	2,412

pruebas a 80°C y 10 % humedad

Temperatura (°C)	Cantidad de grano (g)	Aceite Obtenido (g)	Eficiencia (%)
80	500	0	0
80	500	0	0
80	500	0	0
80	500	0	0
80	500	0	0
Promedio		0	0

pruebas a 60°C y 12 % humedad

Temperatura (°C)	Cantidad de grano (g)	Aceite Obtenido (g)	Eficiencia (%)
60	500	54,5	10,9
60	500	55,2	11,04
60	500	53,1	10,62
60	500	53,9	10,78
60	500	54,8	10,96
Promedio		54,3	10,86

pruebas a 70°C y 12 % humedad

Temperatura (°C)	Cantidad de grano (g)	Aceite Obtenido (g)	Eficiencia (%)
70	500	13,4	2,68
70	500	13,9	2,78
70	500	12,8	2,56
70	500	14,1	2,82
70	500	12,3	2,46
Promedio		13,3	2,66

pruebas a 80°C y 12 % humedad

Temperatura (°C)	Cantidad de grano (g)	Aceite Obtenido (g)	Eficiencia (%)
80	500	0	0
80	500	0	0
80	500	0	0
80	500	0	0
80	500	0	0
Promedio		0	0

pruebas a 60°C y 14 % humedad

Temperatura (°C)	Cantidad de grano (g)	Aceite Obtenido (g)	Eficiencia (%)
60	500	56,7	11,34
60	500	56,9	11,38
60	500	55,7	11,14
60	500	56,2	11,24
60	500	56,3	11,26
Promedio		56,36	11,272

pruebas a 70°C y 14 % humedad

Temperatura (°C)	Cantidad de grano (g)	Aceite Obtenido (g)	Eficiencia (%)
70	500	14,8	2,96
70	500	15,3	3,06
70	500	15,8	3,16
70	500	14,7	2,94
70	500	15,6	3,12
Promedio		15,24	3,048

pruebas a 80°C y 14 % humedad

Temperatura (°C)	Cantidad de grano (g)	Aceite Obtenido (g)	Eficiencia (%)
80	500	0	0
80	500	0	0
80	500	0	0
80	500	0	0
80	500	0	0
Promedio		0	0

ANEXO B

Imagen de la torta a 60°C



Tomada por los autores del proyecto

Los residuos de la semilla de higuera no alcanzaban a ser expulsados del sistema de extracción, debido a que no se encontraban en un estado muy sólido, aun contenían aceite y la maquina no ejercía la presión necesaria, por esto cada vez que se realizaba una prueba era necesario desmontar el sistema y limpiarlo.

Imagen de la torta a 70°C



Tomada por los autores del proyecto

A medida que aumentábamos las temperaturas de entrada del grano a la máquina, disminuíamos la presión que ejerce el sistema, ya que el aceite que contiene la semilla se vuelve menos viscoso lo cual hace que el grano ocupe menos espacio dentro del sistema de extracción, logrando una mezcla aceitosa dentro de la canastilla.

Imagen de la torta a 80°C



Tomada por los autores del proyecto

Al someter la semilla a una temperatura de 80°C antes de su proceso de extracción, esta no alcanzaba a ser comprimida por el sistema de extracción, ya que se presenta el mismo fenómeno de viscosidad, a mayor temperatura del aceite este se vuelve menos viscoso, como la semilla tiene gran composición de aceite esto logra hacer que la semilla sea más blanda, logrando que al ser llevada al proceso de extracción esta ocupe menos espacio en el sistema, obteniendo así unos residuos muy aceitosos y medio molidos por parte de la máquina.

Imagen de la torta a temperatura y humedad ambiente



Tomada por los autores del proyecto

Al procesarse el grano a temperatura y humedad ambiente se obtuvieron los mejores resultados, los residuos eran evacuados del sistema de extracción, siendo una torta sólida y seca; mostrando como resultado que su aceite se habría extraído correctamente por parte del sistema de compresión.

Perdidas por rendijas en la canastilla



Tomada por los autores del proyecto

La mayor eficiencia obtenida fue del 38% de aceite por parte de la maquina extrusora de semilla, esto debido a que se presenta una considerable perdida de aceite por medio de las rendijas de salida que tiene la canastilla, como la dirección de salida del aceite no está concentrada en un solo punto (un orificio de recolección) este se expande por todos los espacios que contienen las rendijas dificultando su recolección y aumentando las perdidas.

Imagen comparativa entre la obtención de aceite a 60 y 70 °C



Tomada por los autores del proyecto

La cantidad obtenida de aceite a una temperatura de 60°C (vaso izquierdo) es más del triple que la obtenida a 70°C (vaso derecho). Nos centramos en estos resultados ya que a 80°C no se obtuvo aceite.

Resultado de análisis químico del aceite

	CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS -CICTA-	INFORME DE ENSAYO	FOITIE.01
			Versión: 01
			Página 1 de 3

INFORME DE ENSAYO

Número: 007-12

FECHA: Enero 23 de 2012
NOMBRE/EMPRESA: Pedro Arturo Velásquez López
DIRECCIÓN: Calle 48 No 24-33
TELÉFONO: 3138608342

CÓDIGO DE LA MUESTRA: M056-12
PRODUCTO: Aceite de Higuierilla

FECHA DE RECEPCIÓN: Enero 13 de 2012
REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS: Enero 17 a Enero 18 de 2012

DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS:

1. La humedad se determinó siguiendo la metodología descrita en la norma técnica Colombiana 287.
2. La Acidez fue analizada siguiendo la metodología descrita en la norma técnica Colombiana 218.

TABLA 1. RESULTADOS ANÁLISIS M056-12

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Humedad	% gr.	0,48	NTC 287
Acidez (Acido Ricinoleico)	% gr.	8,28	NTC 218

REVISÓ Y AUTORIZÓ

Janeth Aidé Perea Villamil
Química, MSc, Doctora en Química
Director(a) Técnico y administrativo

NOTA: ESTE INFORME DE RESULTADOS CORRESPONDE ÚNICAMENTE A LA MUESTRA ANALIZADA, NO PUEDE SER NI PARCIAL NI TOTALMENTE REPRODUCIDO SIN LA APROBACIÓN DEL LABORATORIO