

Mejora del Proceso de Extracción de Aceite De Palmiste en los Expellers de la Empresa

Palmeras de Puerto Wilches S.A.

María Fernanda Amaya Ferreira

Trabajo De Grado Para Optar El Título De Ingeniera Química

Modalidad Práctica Empresarial

Directora

Viviana Sánchez Torres

Ph.D. Ingeniería Química

Tutor

Óscar Mauricio Díaz Rodríguez

Magister en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Ingeniería Química

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Le dedico este trabajo, para obtener mi título de ingeniera química a mi madre, María Helena Ferreira, ella es la dueña de este logro; quien me apoyo, me enseñó a ser fuerte y es mi modelo por seguir como persona y mujer por su resiliencia, fortaleza y optimismo.

También lo dedico a todo el equipo Biobusiness (Chile y Suecia), especialmente a Germán Carú; por creer en mí y ayudarme a enfrentar las adversidades, enseñarme que hay un futuro diferente lleno de retos y desafíos fascinantes por descubrir.

Finalmente, también lo dedico a mi hermano Víctor Amaya, quien me guio por el camino académico, y me apoyó para no desertar en la vida universitaria, fue mi profesor y consejero, me acompañó en cada dificultad y me ayudo a tomar las decisiones adecuadas.

Agradecimientos

Le agradezco a la empresa Palmeras de Puerto Wilches, por brindarme la oportunidad de realizar la práctica y aprender de la vida laboral; a todo el equipo administrativo que me apoyo y me acompañó en este proceso, tanto en la parte técnica, como los amigos que me brindaron compañía en esa época difícil, alejada de mi familia.

También gracias a los operarios, los encargados del mantenimiento y los de laboratorio, especialmente a José y Armando, quienes estuvieron de forma incondicional en lo que necesitaba para ejecutar la práctica, al igual que todo el equipo que me acogió y me hizo sentir en familia, donde tuve los mejores recuerdos de esa experiencia.

Gracias a la profesora Viviana por ayudarme a retomar y finalizar con el proceso, brindándome el apoyo y los consejos correctos para finiquitar uno de los pasos más importantes en la vida profesional.

Gracias a mi familia, mi madre y hermanos, por apoyarme y hacerme sentir importante en sus vidas, brindándome el apoyo necesario e incondicional. También al equipo Biobusiness, (German y Roberto), por enseñarme que la gente espera grandes cosas de mí, y que debo cerrar los ciclos para poder continuar con el crecimiento que anhelo.

Finalmente, gracias a todos mis amigos, los compañeros de la universidad, especialmente Andrea Galvis, amigos del colegio (promoción 2013) y de camino como Angélica, Silvia y Naren, por ayudarme a despejar la mente y estar conmigo en las buenas y en las malas, sin importar lo ingrata que puedo llegar a ser.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1 Objetivos	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2 Marco Conceptual	15
2.1 Aceite de Palmiste.....	15
2.2 Expeller	19
3 Estado del Arte.....	20
4 Metodología	22
4.1 Fase 1: Diagnóstico de Equipos	23
4.2 Fase2: Condiciones de Operación.....	23
4.3 Fase 3: Recomendaciones	25
5 Resultados	25
5.1 Diagnóstico del Estado Actual.....	25
5.1.1 Características de los Expellers en la Empresa.....	25
5.1.2 Datos Históricos y Ensayos Previos.	26
5.1.3 Mantenimiento de los Expellers.....	30
5.2 Análisis de Variables.	31
5.2.1 Humedad de Almendra y Torta de Palmiste.	32
5.2.2 Mantenimiento.	34
5.2.3 Diseño de Experimentos.	37

5.3 Recomendaciones.	41
5.3.1 Capacidad Expeller DY20 Malayo.	41
5.3.2 Dimensiones Generales para Monitoreo de los Expellers	43
5.3.3 Relación de la Humedad con el Amperaje del Expeller.	44
6 Conclusiones	46
Referencias Bibliográficas	48
Apéndices.....	52

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Artículos científicos revisados.</i>	20
Tabla 2 <i>Descripción del diseño de experimentos.</i>	24
Tabla 3 <i>Ecuaciones usadas.</i>	24
Tabla 4 <i>Características de los expellers.</i>	26
Tabla 5 <i>Datos históricos de los expeller en el laboratorio.</i>	27
Tabla 6 <i>Prueba de amperaje.</i>	28
Tabla 7 <i>Datos expeller 3 modificado.</i>	42

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Fruto de palma africana</i>	16
Figura 2 <i>Diagrama de bloques, proceso de extracción aceite de palmiste</i>	17
Figura 3 <i>Expeller</i>	19
Figura 4 <i>Diagrama metodológico</i>	22
Figura 5 <i>Dispersión de puntos de la capacidad DY20 (ejemplo expeller 3)</i>	29
Figura 6 <i>Dispersión de puntos de la capacidad Inal 600 (ejemplo expeller 6)</i>	29
Figura 7 <i>Desgaste del contra-cono y horas de trabajo</i>	30
Figura 8 <i>Contra- cono</i>	31
Figura 9 <i>Gráfica humedad de la torta de palmiste vs humedad de la almendra</i>	33
Figura 10 <i>Diagrama de caja y bigotes de la humedad de la torta</i>	34
Figura 11 <i>Gráfica de la media de la capacidad según el mantenimiento</i>	35
Figura 12 <i>Gráfica de dispersión de pérdidas vs capacidad</i>	36
Figura 13 <i>Expeller con canasta desgastada (mantenimiento 3)</i>	36
Figura 14 <i>Diagrama de caja y bigotes de sólidos presentes en el aceite</i>	37
Figura 15 <i>Gráfica efectos de las variables</i>	38
Figura 16 <i>Gráfica dispersión de la capacidad</i>	39
Figura 17 <i>Gráfica dispersión de la humedad</i>	40
Figura 18 <i>Gráfica de dispersión del amperaje</i>	40
Figura 19 <i>Fotografía en planta de las platinas</i>	42
Figura 20 <i>Gráfica de frecuencia de pérdidas de aceite en torta</i>	43

Figura 21 *Gráfico comparativo del efecto del cambio de humedad.* 45

Figura 22 *Gráfico de la diferencia de los valores con el cambio de humedad por muestra realizada.*

..... 45

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A <i>Diagrama de flujo de palmistería (producción PKO)</i>	52
Apéndice B <i>Metodología del diseño de experimentos</i>	54
Apéndice C <i>Metodología de pruebas en laboratorio</i>	55
Apéndice D <i>Partes principales del expeller</i>	56
Apéndice E <i>Mantenimiento</i>	59
Apéndice F <i>Prueba anova</i>	60
Apéndice G <i>Dimensiones de las partes del expeller</i>	61
Apéndice H <i>Tabla modelo, para el seguimiento del mantenimiento</i>	65

Glosario

<i>ac</i>	Masa de aceite en la muestra
<i>C0</i>	máxima cantidad de aceite presente en la almendra
<i>cv</i>	coeficiente de variación
<i>H</i>	humedad
<i>m1</i>	masa húmeda
<i>m2</i>	masa seca
<i>mm</i>	milímetros
<i>me</i>	masa de entrada de almendra
<i>ms</i>	masa de la torta a la salida del expeller
<i>N</i>	muestra de los datos
SSNA	sólido seco no aceitoso
<i>sx</i>	desviación estándar
μ	media de los datos
\bar{x}	promedio de los datos
<i>Y</i>	rendimiento de aceite

Resumen

Título: Mejora del proceso de extracción de aceite de palmiste en los expellers de la empresa Palmeras de Puerto Wilches S.A.*

Autor: María Fernanda Amaya Ferreira**

Palabras Clave: Expeller, extracción de aceite de palmiste, torta de palmiste.

Descripción: Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la extracción de aceite de palmiste en los expellers, con el objetivo de identificar los valores de operación común, las piezas fundamentales del equipo y la metodología de trabajo de los operarios. Durante el diagnóstico de la operación, se encontró que existía una carencia en el control del mantenimiento de las piezas de los expellers y falta de estandarización, lo que estaba generando una alta variabilidad en los valores del porcentaje de pérdidas de aceite en torta y la humedad de la almendra. Para abordar estos problemas, se realizó un diseño de experimentos aleatorio con 3 factores y 2 niveles, donde se establecieron los niveles de amperaje del equipo en [52-57] y [45-50] [A], la humedad de la almendra en [2-3] y [3.5-4.5] [%], y la capacidad del expeller en [540-600] y [640-700] [kg/h]. Se encontró que tanto el amperaje como la capacidad del equipo tienen un efecto significativo sobre el porcentaje de pérdidas de aceite en torta, los mejores valores de operación de la prueba anova y que cumplen con la NTC 770, son de capacidad de 540 a 600 [kg/h] y amperaje de 45-50 [A], generando una eficiencia de extracción del 90,37% y un porcentaje de pérdidas de 9,73%: con un intervalo de confianza del 95%. Para mejorar aún más el proceso, se recomienda trabajar con humedades superiores a 3 e inferiores a 5% (Ezeoha et al., 2017), considerar aumentar la capacidad del expeller DY20 malayo, mejorar la reconstrucción de las piezas del equipo y evitar cambios fluctuantes en la humedad de la almendra que ingresa al expeller. Además, es importante llevar un registro detallado de los tiempos de mantenimiento, horas de trabajo y número de reconstrucciones de las partes del expeller, estandarizando las medidas de las piezas tanto nuevas como de reconstrucción.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenieras Físicoquímicas Escuela de Ingeniería Química. Programa académico de Ingeniería Química. Director: Viviana Sánchez Torres. Ph.D. Ingeniería Química. Tutor: Óscar Mauricio Díaz Rodríguez. Magister en Ingeniería Química.

Abstract

Title: Improvement of the palm kernel oil extraction process in the expellers of Palmeras de Puerto Wilches S.A. company. *

Author(s): María Fernanda Amaya Ferreira **

Key Words: Expeller, palm kernel oil extraction, palm kernel cake.

Description: A comprehensive analysis of palm kernel oil extraction was carried out in the expellers, aiming to identify common operating values, essential equipment components, and the working methodology of the operators. During the operation diagnosis, it was found that there was a lack of control in maintaining the expeller parts and a lack of standardization, resulting in high variability in the percentage of oil losses in the cake and moisture content of the kernel. To address these issues, a randomized experimental design with 3 factors and 2 levels was conducted. The levels were established as follows: equipment amperage at [52-57] and [45-50] [A], kernel moisture at [2-3] and [3.5-4.5] [%], and expeller capacity at [540-600] and [640-700] [kg/h]. It was found that both the amperage and capacity of the equipment have a significant effect on the percentage of oil losses in the cake. The optimal operating values determined from the ANOVA test and compliant with NTC 770 are a capacity of 540 to 600 [kg/h] and an amperage of 45-50 [A], resulting in an extraction efficiency of 90.37% and a loss percentage of 9.73% with a 95% confidence interval. To further improve the process, it is recommended to work with kernel moisture levels above 3% and below 5% (Ezeoha et al., 2017), consider increasing the capacity of the Malaysian DY20 expeller, improve the reconstruction of equipment parts, and avoid fluctuating changes in the moisture content of the kernel entering the expeller. Additionally, it is important to maintain a detailed record of maintenance times, working hours, and the number of expeller part reconstructions, standardizing measurements for both new and reconstructed parts.

* Degree Work

** Faculty of Physicochemical Engineers, School of Chemical Engineering. Academic program in Chemical Engineering. Director: Viviana Sánchez Torres, Ph.D. in Chemical Engineering. Tutor: Óscar Mauricio Díaz Rodríguez, Master's in Chemical Engineering.

Introducción

La empresa Palmeras de Puerto Wilches S.A., cuenta en su línea de producción y comercialización con productos como el aceite de palma (CPO), aceite de palmiste (PKO) y subproductos como torta de palmiste, chocolatina y cascarilla; distribuidos a nivel nacional e internacional (PPW, 2020). Tiene una capacidad instalada para procesar 69 toneladas/h de fruto y produce en promedio 13,8 Ton/h de aceite de palma y de 0,7 a 1 Ton/h de aceite de palmiste en periodos de alta demanda de trabajo y producción.

Durante el proceso de extracción mecánica de aceite de palmiste, pueden surgir diversos inconvenientes que afectan negativamente la eficiencia de extracción, tales como:

La variación en los niveles de las variables que influyen en las pérdidas de aceite en torta, como la humedad de la almendra, la capacidad de procesamiento y el amperaje del expeller (Ezeoha et al., 2017).

La falta de mantenimiento y control adecuados de las partes del expeller.

Las prácticas y metodologías laborales de los operarios.

La capacidad de almacenamiento en los silos de almendra y el nivel de estandarización del proceso.

En el presente trabajo, por medio de una práctica empresarial, se analizó la operación de los expellers; equipos diseñados para la extracción de aceite de palmiste, proveniente de la semilla del fruto de la palma africana o palma de aceite (Fedepalma, 2020).

La metodología llevada a cabo fue a partir de un diagnóstico de la operación, identificar las variables involucradas y los valores de trabajo común en planta (de la humedad de la almendra, la capacidad de procesamiento y amperaje de los expellers), las prácticas laborales de los operarios

y la frecuencia de mantenimiento. Se realizó un diseño experimental aleatorio (Montgomery, 2004), evaluando como variables, el amperaje generado por el equipo según el estrangulamiento del cono, la humedad de entrada de la almendra y la capacidad de procesamiento del equipo según sus especificaciones técnicas y su estructura física, con el objetivo de identificar su efecto sobre el porcentaje de pérdidas de aceite en torta de palmiste.

Con este trabajo se buscó determinar las mejores condiciones de operación y estandarizar el proceso de extracción de aceite de palmiste, para obtener un porcentaje de pérdidas de aceite en torta de palmiste bajo, en concordancia con la normativa técnica colombiana.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Determinar las condiciones de operación, humedad de la almendra, amperaje y capacidad de los expellers, que mejoren el proceso de extracción de aceite de palmiste en la empresa Palmeras de Puerto Wilches S.A.

1.2 Objetivos Específicos

Realizar un diagnóstico al estado de los equipos, partes, funcionamiento y ficha técnica de los expellers y, a las practicas operativas y condiciones de trabajo habitual de las variables del proceso como la humedad de la almendra, amperaje y capacidad del expeller.

Determinar los valores del amperaje, capacidad del expeller y humedad de la almendra que favorecen el proceso de extracción y permitan disminuir las pérdidas de aceite en la torta.

Realizar recomendaciones de mejora para el proceso de extracción de aceite de palmiste

2 Marco Conceptual

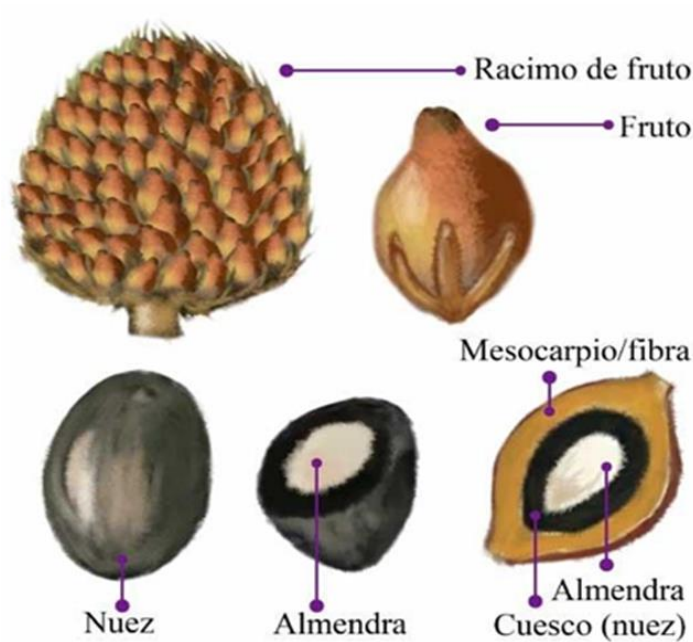
2.1 Aceite de Palmiste

La palma de aceite es una planta tropical propia de climas cálidos, de ella se obtiene como productos principales; el aceite de palma y aceite de palmiste; y subproductos como la torta de palmiste y biomasa (Mujica, 2010). El aceite de palmiste es obtenido de la semilla del fruto, conocida como almendra, la cual representa entre el 2 – 5 % del peso del racimo de la palma (Corrado & Kamerunicus, 1984) y puede contener entre un 47 – 50% de aceite (Thin Sue, 1992). La Figura 1, muestra las partes del fruto de la palma africana; del mesocarpio/fibra se obtiene el aceite de palma y de la almendra el aceite de palmiste, Es importante mencionar que la almendra

se encuentra dentro de la nuez. Por lo tanto, cuando se saca la almendra, a la cascara resultante se le conoce como cuesco.

Figura 1

Fruto de palma africana.



Nota. Adaptado de (Antonio Guoron, 2011).

El aceite de palmiste, en cuanto a su composición de ácidos grasos (ácido láurico) y propiedades, es muy parecido al aceite de coco. Los principales ácidos grasos que se encuentran son: el C12 (ácido láurico) que representa aproximadamente el 48%, C14 (ácido mirístico), el 16%, C18:1 (ácido oleico) alrededor del 15%, y el resto de ácidos grasos presentes no superan el 10%; tiene un índice de yodo máximo de 21 y es un aceite saturado en un 82% (Pantzaris & Jaaffarahmad, 2002).

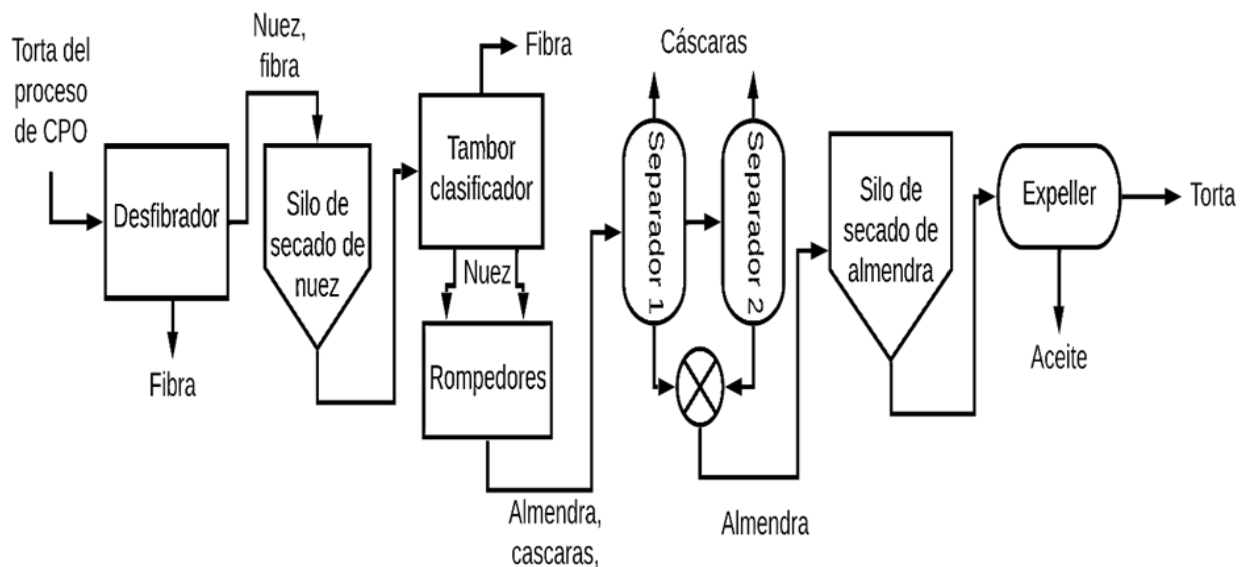
Para extraer el aceite de la semilla (almendra), se puede realizar por extracción con solvente o mecánica. En la extracción mecánica, por medio de presión se rompen las paredes celulares,

donde se encuentra el aceite junto con las proteínas y otros constituyentes (Beerens, 2007). Un alto contenido de humedad de la almendra dificulta la extracción, debido a que, no se alcanza a romper la estructura intracelular, además, de producir la proliferación de microorganismos; por otra parte, un bajo contenido de humedad podría causar exudación y decoloración del aceite de palmiste, disminuyendo su calidad. El contenido de aceite en la almendra depende de la madurez del fruto (Thin Sue, 1992)

Durante el proceso de extracción mecánica del aceite de palmiste, se utiliza el expeller como la unidad principal de trabajo, en la Figura 2, se visualiza el diagrama de bloques, donde, se observa el proceso de extracción de aceite de palmiste.

Figura 2 Diagrama de bloques, proceso de extracción aceite de palmiste.

Diagrama de bloques, proceso de extracción aceite de palmiste.



En la operación de extracción, se pueden presentar pérdidas de aceite por los niveles de los diferentes factores como: la humedad de la almendra que ingresa al expeller; el amperaje de trabajo de los equipos y la capacidad de procesamiento de este.

El proceso de extracción de aceite de palmiste en la empresa se describe a continuación: (ver apéndice A para el diagrama del proceso completo).

La nuez recuperada de las dos líneas de aceite crudo de palma (CPO) con un porcentaje menor de fibra se transporta al silo de secado. Allí, se reduce la humedad del 20% al 13% y se clasifica por tamaño en el tambor clasificador de 12, 14 y 20 mm. La almendra se tritura en uno de los 4 rompedores, según la clasificación por tamaño, para obtener la almendra. Luego, se elimina la cáscara y la fibra en la columna de separación neumática mediante una corriente de aire en dos columnas para minimizar la pérdida de almendra. Como resultado, se obtiene cascarilla y finos como residuos. Posteriormente, la almendra se dirige a los silos de secado (donde el contenido máximo de impurezas es del 10%) para reducir la humedad del 13% al 3-5%, aproximadamente (Wambeck, 1999).

Después de pasar por el proceso de secado y eliminación de impurezas, la almendra seca es llevada a los expellers, que son las unidades encargadas de extraer el aceite a través de la presión. La empresa dispone de seis expellers con capacidades que oscilan entre 500 y 700 Kg/h. De esta operación se obtiene el aceite con trazas de sólidos y la torta de palmiste, que se almacena en sacos de 50 kg. Para cumplir con la normativa establecida en la NTC 770, la torta de palmiste debe tener una humedad máxima del 12% y un contenido mínimo de aceite del 8% (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2019).

El aceite extraído se somete a un tamizado en un tamiz vibratorio para separar los sólidos de mayor tamaño. Por último, el aceite tamizado es dirigido a un filtro prensa con el objetivo de reducir la cantidad de sólidos suspendidos y aumentar su pureza. Posteriormente, se obtiene una masa espesa conocida como "chocolatina" y se almacena el aceite resultante."

3 Estado del Arte

Se realizó una revisión bibliográfica a diferentes artículos científicos que abordaban en sus estudios mejorar la eficiencia o el rendimiento de extracción de aceite en los expellers, y las variables fundamentales eran la humedad de la almendra, el tiempo de secado de la almendra, la capacidad del expeller, la tensión de compresión y la velocidad de rotación; en la Tabla 1, se visualiza el resumen de cuatro artículos.

Tabla 1

Artículos científicos revisados.

Referencia	Nombre del estudio	Modelo de ensayo	Propósito del estudio	Resultado
(Akinoso & Igbeka, 2007)	Modelado de extracción de aceite de palmiste	Diseño experimental 3^4 , con 64 muestras. Las variables fueron: contenido de humedad de 4,5; 5,9, 10,4 y 15,2 %, todas en base húmeda y se tostaron durante 5, 10, 15 y 20 minutos, cada uno de los cuales se llevó a cabo a temperaturas de 70, 90, 110 y 130 °C. (se analizó mediante el coeficiente de determinación 2R, la prueba F y los criterios de análisis residual.)	Determinar los efectos de los parámetros en el palmiste para desarrollar ecuaciones de modelo.	Los rendimientos de aceite disminuyeron constantemente con el aumento del contenido de humedad. El aumento en la duración y temperatura del tostado produjo un aumento inestable en los rendimientos de aceite. El rendimiento máximo de aceite registrado fue de 47,0 % de la materia prima equivalente a 94,7 % de eficiencia de aceite expresado. Esto se logró con un contenido de humedad del grano de 4,5%; 5 minutos

Referencia	Nombre del estudio	Modelo de ensayo	Propósito del estudio	Resultado
(Ezeoha et al., 2017)	Evaluación del rendimiento de la prensa de tornillo magnus (modelo ms-100) para la extracción de aceite de palma	Diseño completamente aleatorio de un factor a la vez con 4 niveles y 2 repeticiones, para determinar el efecto del contenido de humedad del grano, las temperaturas de calentamiento del grano y duraciones de calentamiento del grano en la eficiencia de extracción de aceite de la prensa de tornillo. (ANOVA)	Evaluar la prensa de tornillo Magnus (Modelo MS-100) fabricada localmente en Nsukka, Nigeria.	de duración del tostado y 130°C de temperatura de tostado. las mejores condiciones fueron: con 5% de humedad, temperatura y duración de calentamiento del grano de 50 – 130 °C y 5 a 10 min respectivamente, se obtuvo un rendimiento promedio de aceite de 33,6%, una eficiencia de extracción de 73%, y un contenido de aceite en la torta de 13,6%.
(Akinoso et al., 2009)	Efectos de la tensión de compresión, la tasa de alimentación y la velocidad de rotación del expeller, en el rendimiento del aceite de almendra de palma	Diseño de experimento 3 [^] 3. Los factores fueron: la tensión de compresión (10, 20 y 30 Mpa), tasa de alimentación (50, 100 y 150 kg/h) y velocidad de rotación del expeller (50, 80 y 110 rpm). Con humedad de almendra de 5.5%. (analizados por regresión y ANOVA)	Determinar el efecto de los parámetros en la extracción de aceite de palma, usando un expeller.	el rendimiento máximo fue de 46,3%, con una humedad de almendra de 5,5%; encontraron que solo la compresión tiene un efecto significativo en la eficiencia del equipo, aunque, la alimentación y velocidad de rotación deben tener valores adecuados para su funcionamiento.

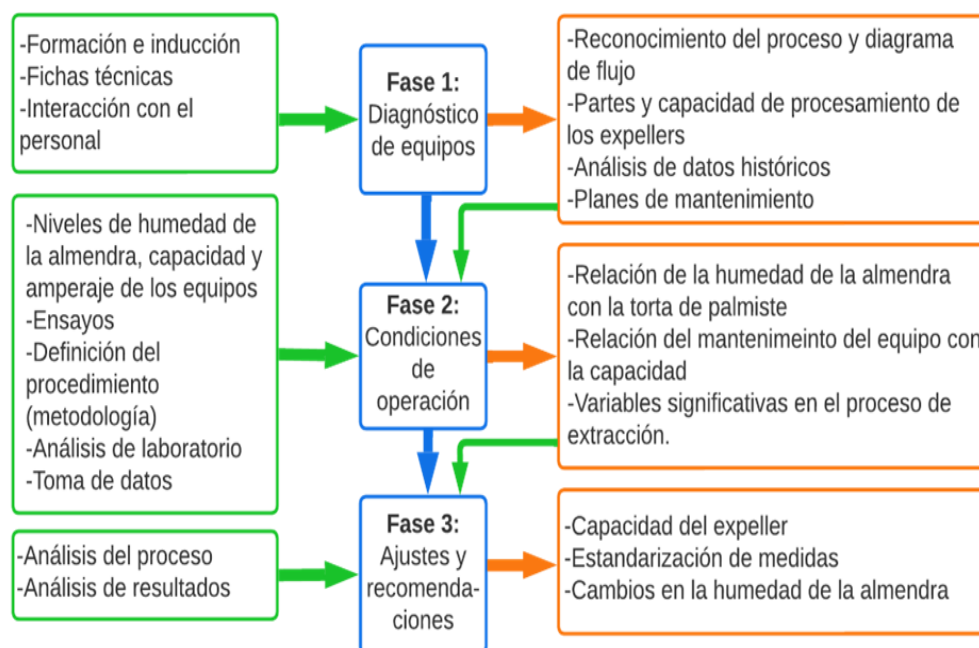
Referencia	Nombre del estudio	Modelo de ensayo	Propósito del estudio	Resultado
(Olusegun & Ikuobase, 2018)	El desarrollo de expeller para semillas basadas en palmiste y su caracterización del aceite	Diseño y construcción de un expeller para la extracción de aceite de palma, mediante ecuaciones de diseño teóricas, con ajuste literario de variables de operación.	Construcción de un expeller para la extracción de aceite de palmiste y caracterizar el aceite extraído.	Humedad de almendra de 3%, rendimiento de aceite extraído de 30.17% y eficiencia de extracción de 60.33%.

4 Metodología

En la Figura 4, se presenta el diagrama metodológico, donde, se visualiza las etapas desarrolladas, durante la ejecución del proyecto.

Figura 4

Diagrama metodológico.



4.1 Fase 1: Diagnóstico de Equipos

Diagnóstico del estado actual de los expeller, en sus partes, funcionamiento y ficha técnica y, a las practicas operativas y condiciones de trabajo habitual.

Se llevó a cabo una visita a la planta de extracción con el propósito de conocer el proceso productivo y las unidades requeridas, prestando especial atención a la ficha técnica de los expellers como equipo de análisis. Se realizaron análisis de los datos históricos de humedad de la almendra, amperaje, capacidad de los expellers y porcentaje de pérdidas de aceite en la torta, para establecer los valores comunes de operación. Se identificaron los promedios, valores máximos, mínimos y el coeficiente de variación de los datos analizados utilizando la Ec 5 y Ec 6 de la Tabla 3. Además, se mantuvieron conversaciones con los operarios para identificar fallas operativas y las condiciones de trabajo habituales.

Se realizó un análisis y seguimiento de los tiempos de mantenimiento llevados a cabo en la empresa en cada uno de los expellers, y se identificaron las principales partes del equipo.

4.2 Fase2: Condiciones de Operación

Determinación de los valores favorables de trabajo de la humedad de la almendra, capacidad y amperaje del expeller.

Se realizó un diseño aleatorio de 3 factores con 2 niveles (ver Tabla 2) (Montgomery, 2004).

Se tomaron muestras para cada prueba experimental en el expeller, siguiendo la metodología planteada en el Apéndice B y los análisis de laboratorio se realizaron según Apéndice C, para medir la humedad de la almendra y el contenido de aceite presente en la muestra; la humedad se calcula con la Ec. 1, el porcentaje de pérdidas con la Ec. 2, la eficiencia del expeller con Ec. 4 y la Ec 5, se utilizó para calcular el coeficiente de variación, según la Tabla 3 . se

documentó la información y se realizó el análisis estadístico con el programa R estudio (R Core Team, 2020), para determinar los valores de las variables de entrada del expeller que favorecen la extracción.

Tabla 2

Descripción del diseño de experimentos.

Descripción	Factores	Niveles
Variable de respuesta: <i>porcentaje de pérdidas de aceite en torta de palmiste</i>	Amperaje del expeller	[42 – 50] [A]
		[52 – 60] [A]
	Capacidad del expeller	[540 – 600] [kg/h]
		[640 – 700] [kg/h]
Humedad de la almendra	[2 – 3] [%]	
	[3.5 – 4.5] [%]	

Tabla 3

Ecuaciones usadas.

Descripción	Ecuación	Unidad	Referencia
Porcentaje de humedad de la almendra. (McCabe et al., 2007)	$H = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} * 100$	%	(Ec. 1)
Porcentaje de pérdida de aceite en la torta de palmiste. (Hernández et al., 2004)	$\% \text{ Pérdidas} = \frac{ac}{SSNA}$	%	(Ec. 2)
Rendimiento de extracción de aceite en el expeller. (Olusegun & Ikuobase, 2018)	$Y = \frac{(m_e - m_s)}{m_e} * 100$	%	(Ec. 3)
Eficiencia de extracción. (Olusegun & Ikuobase, 2018)	$E = \frac{Y}{C_0} * 100$	%	(Ec. 4)
Coefficiente de variación. (Francisco Javier Marco Sanjuán, 2020)	$cv = \frac{S_x}{ \bar{x} } * 100$	%	(Ec. 5)
Desviación estándar. (Khan Academy, 2018)	$s_x = \sqrt{\frac{\sum x - \mu ^2}{N}}$	número	(Ec. 6)

4.3 Fase 3: Recomendaciones

Ajuste y recomendaciones de mejora para el proceso de extracción de aceite de palmiste que permitan la estandarización.

Se realizó un análisis a la capacidad del expeller, las dimensiones de las partes del equipo para estandarizar el mantenimiento y la relación del cambio de la humedad de la almendra en el funcionamiento del equipo, específicamente el amperaje del expeller. Del análisis se formularon recomendaciones para mejorar la operación y estandarizar el proceso.

5 Resultados

5.1 Diagnóstico del Estado Actual.

5.1.1 Características de los Expellers en la Empresa

La empresa tiene seis expellers para la extracción de aceite de palmiste (conocidos por su número, ver Tabla 4), todos trabajan a 440 [V]; la empresa cuenta con dos tipos de expellers, denominados: “Inal 600 kg” (son: 1, 2, 5 y 6) y “DY20 malayo 700 kg” (son: 3 y 4), con motores de 50 y 88,5 [hp] respectivamente.

Se encontró, mediante observación y entrevista a los técnicos del equipo, que las partes fundamentales del expeller son: las canastas, boquilla de alimentación, sinfines (# 2, 3 y 4), contra cono y puntera. Ver Apéndice D, para mayor detalle.

los expellers número 1 y 2, se conocían inicialmente como Inal 450, pero, fueron modificados por los técnicos, en las dimensiones de las canastas y caracoles originales, para aumentar la capacidad de procesamiento (alrededor de los 600 kg), dejándolos similares a los Inal 600.

Tabla 4*Características de los expellers.*

Características	Expellers					
N° Equipo	1	2	3	4	5	6
Tipo de equipo	Inal 450	Inal 450	DY20 malayo	DY20 malayo	Inal 600	Inal 600
Capacidad nominal [kg/h]	450	450	700	700	600	600
Potencia [hp]	50	50	88,5	88,5	50	50
Amperaje de placa [A]	63	63	98,3	98,3	61,6	61,7

5.1.2 Datos Históricos y Ensayos Previos.

Inicialmente, se analizaron los datos históricos que tenían en laboratorio para determinar condiciones de operación en planta, se tomaron datos de enero a julio del año 2019 (120 – 160 datos), sobre la humedad de la almendra (que era medida cada 2 horas), la capacidad de los expellers (medida cada jornada o turno de trabajo) y las pérdidas de aceite en torta (1 vez al día, con recepción de muestras cada 2 horas) que son medidas por los operarios de laboratorio para el control del proceso, sin embargo, se encontró que no eran frecuentes estas mediciones.

La almendra seca se extraía de tres silos, los cuales eran alimentados de manera variable. En ocasiones, se utilizaba un solo silo y en otras se empleaban los tres o dos simultáneamente. El operario encargado del proceso contaba con experiencia en campo y era capaz de discernir la salida de la almendra en los silos de almacenamiento para alimentar el expeller, según su conocimiento práctico. Sin embargo, se tomaba la muestra de la humedad de los 3 silos para el laboratorio, los resultados obtenidos indicaron un promedio de humedad del 3%, una desviación estándar de 1, un coeficiente de variación (cv) del 27%, así como un valor máximo de 5% y un mínimo de 1%. La información completa de las demás variables se encuentra disponible en la Tabla 5.

En campo se dificultaba trabajar con valores de humedad superiores a 4%, debido a la baja capacidad de los silos de almendra para el proceso, que podía causar aumento de la humedad por encima del 7% (no recomendable para la eficiencia de extracción) (Ezeoha et al., 2017) y la costumbre de los operarios de mantener la humedad inferior a 3%.

Con el objetivo de trabajar con valores de humedad habituales en campo, se tomó la decisión de permitir trabajar con humedades superiores a 2% y hasta 3%, así como con humedades superiores a 3,5% y hasta 4,5%.

Tabla 5

Datos históricos de los expeller en el laboratorio.

		Expellers					
#Equipo		1	2	3	4	5	6
Pérdidas aceite en torta [g ac/g SSNA]	<i>Promedio</i>	14	14	12	13	14	16
	<i>SD</i>	5	5	5	4	5	4
	<i>CV</i>	35%	37%	38%	33%	36%	32%
Capacidad del expeller [kg/h]	<i>Promedio</i>	474	632	459	483	575	538
	<i>SD</i>	104	93	49	66	100	79
	<i>CV</i>	22%	15%	11%	14%	17%	15%

Para el amperaje del equipo, los datos eran obtenidos cada minuto por el software de control y eran guardados al final del día por el operario. con el fin de hacer un mejor análisis al amperaje, se notó experimentalmente que, en el vacío, los expellers consumen un amperaje de alrededor de 30 [A]; y sin la puntera, la almendra tiende a salir entera y genera el mismo amperaje de vacío.

Se realizó una prueba en campo, recogiendo datos de 3 días de trabajo de los 2 tipos de expellers y en la Tabla 6, se observan los valores de trabajo del amperaje para los expeller 4 y 6, con capacidad de 500 kg/h, eliminando los valores inferiores a 30 [A] (trabajo en vacío) y se evidencia que la media es representativa con una variación de 2 a 4 puntos. Con esta información,

se define que los equipos se pueden trabajar en el caso de los Inal 600 kg/h (6), en un amperaje de 40 y menor 60 [A], y el DY20 malayo (4) en un amperaje de 40 y menor a 80 [A] (por ficha técnica), aunque, normalmente trabaja inferior a 50 [A]. De esta forma, se establece los rangos de amperaje de 45 – 50 [A] y de 52 – 60 [A].

Tabla 6

Prueba de amperaje.

	Promedio (expeller 4)	Promedio (expeller 6)
<i>Promedio [A]</i>	47	50
<i>SD</i>	2	4
<i>CV</i>	6%	7%
<i>Max.</i>	60	78
<i>Min.</i>	38	39

Se evidenció en campo, que la capacidad de los equipos, sobre todo los Inal 600 kg, presentaban capacidad por encima de los 600 kg/h (su capacidad nominal) y los DY20 por debajo de los 500 kg/h (debajo de la capacidad nominal). Las Figuras 5 y 6, muestran la distribución de puntos de la capacidad de los dos tipos de expellers, en el periodo de enero a julio.

Considerando la información obtenida, se decidió trabajar con dos grupos de capacidades: uno cuya capacidad era inferior a 600 kg/h, y otro era superior a este valor. Esta decisión se tomó debido a que es común encontrar en campo equipos con capacidades superiores a 600 kg/h.

Figura 5

Dispersión de puntos de la capacidad DY20 (ejemplo expeller 3).

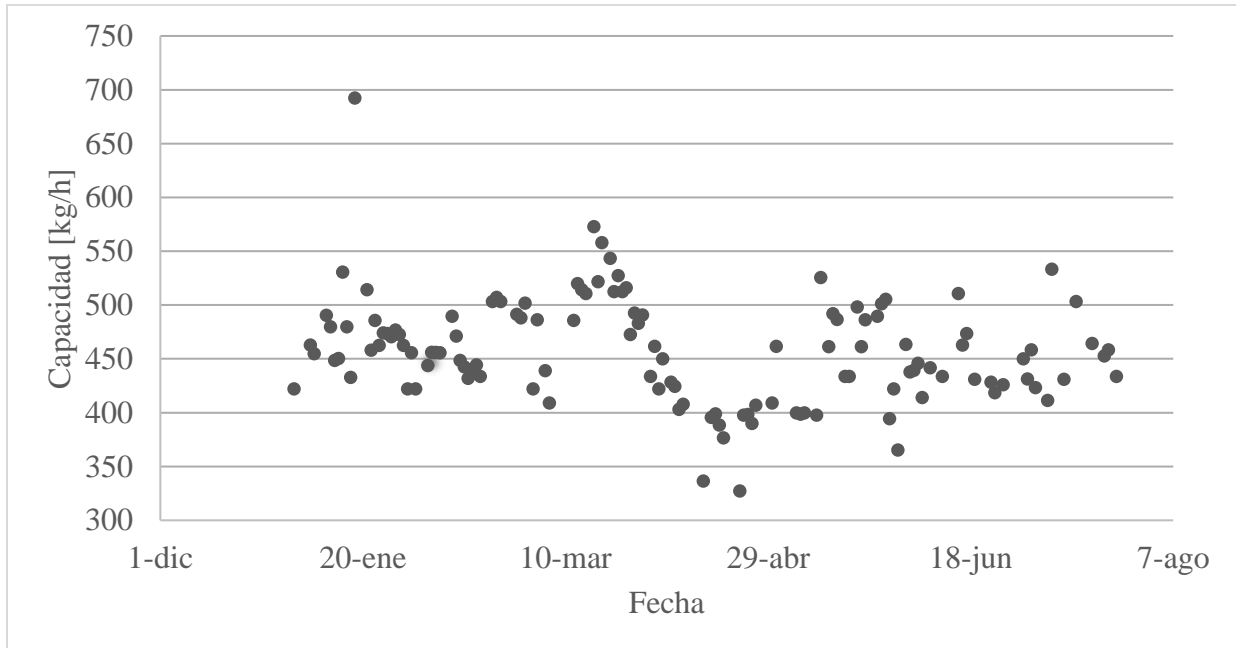
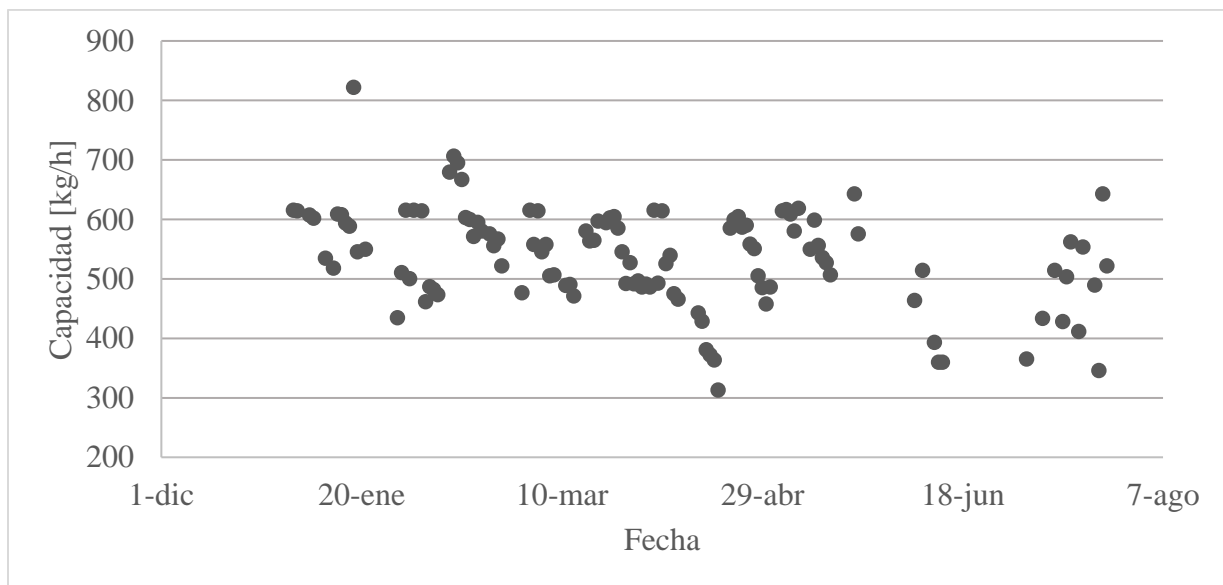


Figura 6

Dispersión de puntos de la capacidad Inal 600 (ejemplo expeller 6).



5.1.3 Mantenimiento de los Expellers.

Se revisó el histórico de mantenimiento también de enero a julio y se observaron las piezas que se cambiaban y la frecuencia, con asesoría del mecánico encargado de las máquinas y la información almacenada. El detalle se visualiza en el Apéndice E.

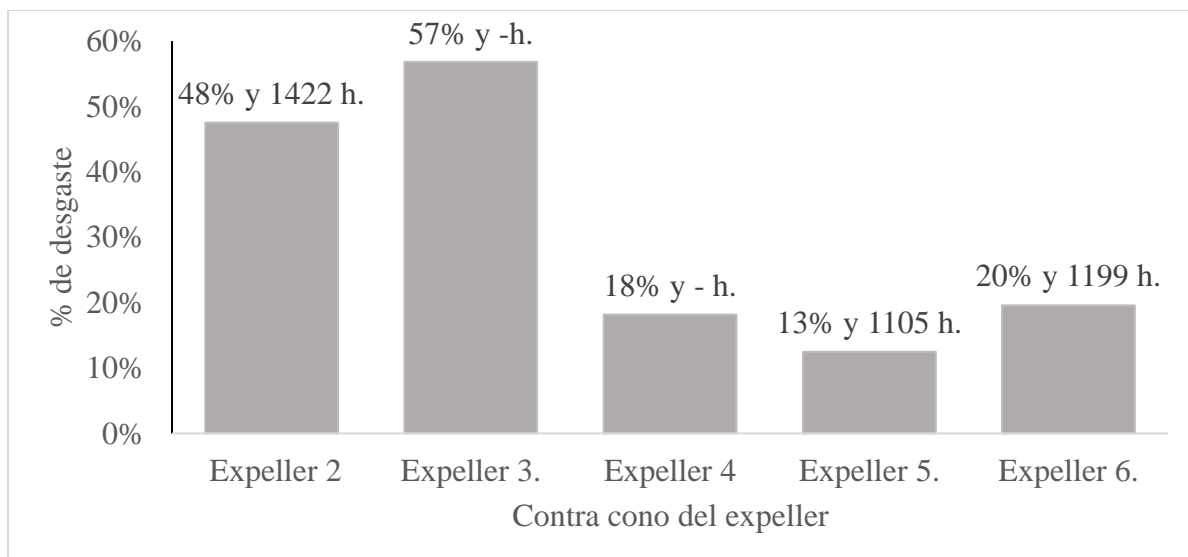
De la información, se encontró, que no todas las piezas del expeller tienen control de cambio, los resultados más destacados indican que:

La puntera no lleva registro de mantenimiento, siendo una de las piezas importantes para la extracción, tiende a perder aproximadamente de 5 a 10 mm de largo a las 400 horas de trabajo.

Del contra- cono se puede observar en la Figura 7 el estado en cada expeller, junto con el porcentaje de desgaste y las horas totales de trabajo registradas hasta la fecha de la medición. Cabe destacar, que estas medidas fueron tomadas durante el mes de noviembre del año 2019 y para el expeller 3 y 4, no hubo registro de horas de trabajo.

Figura 7

Desgaste del contra-cono y horas de trabajo.



A pesar de que no se registraban los cambios de contra-cono con frecuencia, tampoco existía un registro oficial de los mismos. Durante la inspección, se encontró que el expeller 2 presentaba el mayor desgaste registrado con un 48% y un total de 1422 horas de trabajo registradas. Por otro lado, en campo se visualizó que el contra-cono del expeller 3 presentaba un mayor desgaste del 57%, aunque no se tenía registro de las horas de trabajo acumuladas.

En la Figura 8 (a). se muestra un contra-cono nuevo, mientras que en la Figura 8 (b). se puede apreciar un contra-cono desgastado con un 48% de desgaste.

Figura 8

Contra- cono.

(a). *Contra cono nuevo*



(b). *contra cono desgastado*



Nota. Imagen tomada en planta.

Se evidencio visualmente y con entrevista a los técnicos encargados del mantenimiento de los equipos, que en cada cambio la capacidad del expeller podía variar, modificando los ángulos de inclinación de aspas de los sinfines, esto, generaba mayor arrastre de la almendra al interior del equipo, causando aumento a su capacidad. los sinfines más importantes para definir la capacidad son el sinfín número 1 y 2.

5.2 Análisis de Variables.

Durante la ejecución de los ensayos en campo, se presentaron diversas dificultades para el control preciso de las variables en los valores deseados, lo que dificultaba el ajuste a valores fijos.

Ante esta situación, se tomó la decisión de trabajar con niveles en rangos de aceptación. Estos niveles fueron definidos en base al análisis de la operación y a las observaciones realizadas durante las pruebas piloto.

En primera instancia, se llevó a cabo un análisis de la influencia de la humedad de la almendra en la calidad de la torta de palmiste; durante las observaciones en campo, se notó que la torta de palmiste presentaba un color más oscuro cuando se trabajaba con humedades bajas. Asimismo, se evaluó el efecto del mantenimiento sobre la capacidad del expeller, dado que, en la práctica se observó que esta capacidad variaba con cada intervención de mantenimiento.

Finalmente, se realizó el diseño de experimento aleatorio de 3 factores con 2 niveles: amperaje (rangos de [52-57] y [45-50] [A]); humedad de la almendra (rangos de [2-3] y [3.5-4.5] [%]) y capacidad del expeller (rangos de [540-600] y [640-700] [kg/h]) y con 3 repeticiones. Los datos se procesaron con R Studio (R Core Team, 2020).

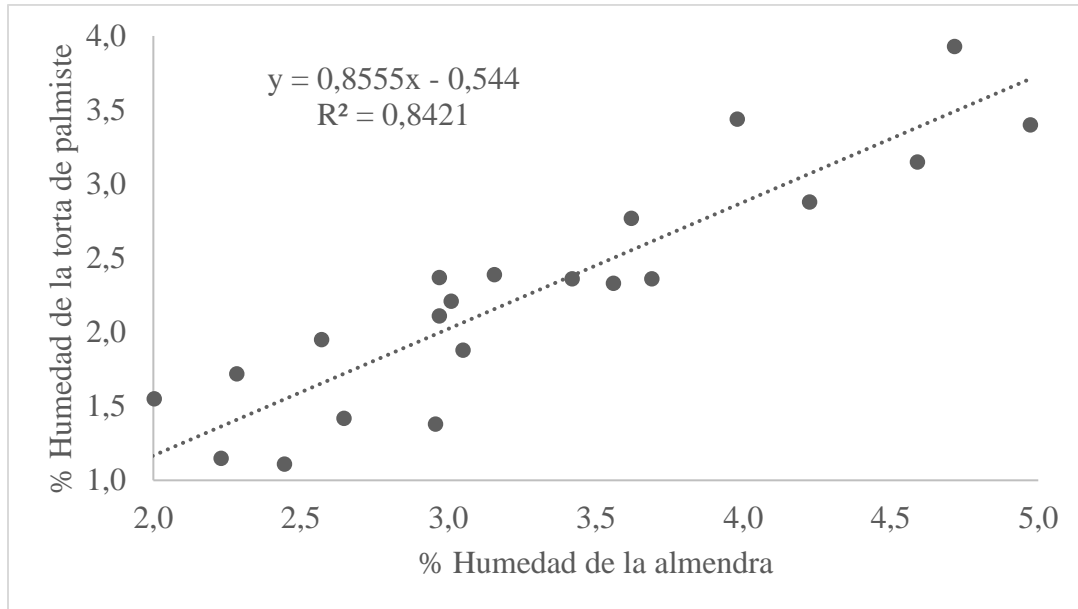
5.2.1 Humedad de Almendra y Torta de Palmiste.

Con datos de laboratorio analizados durante la práctica sobre la humedad de la almendra y humedad de la torta se realizó la Figura 9, donde se evidencia que, a mayor humedad en la almendra, aumenta la humedad en la torta de palmiste de forma casi lineal, con una regresión lineal de 0,84 y pendiente de 0,85.

Se realizó un análisis con la prueba anova de dos factores con dos niveles, de la humedad de la torta de palmiste, analizando el amperaje y la humedad de la almendra; y en el resultado solo la humedad de la almendra tiene un efecto significativo sobre la humedad de la torta de palmiste con un valor p de 0,002125 (ver Tabla F 1).

Figura 9

Gráfica humedad de la torta de palmiste vs humedad de la almendra.

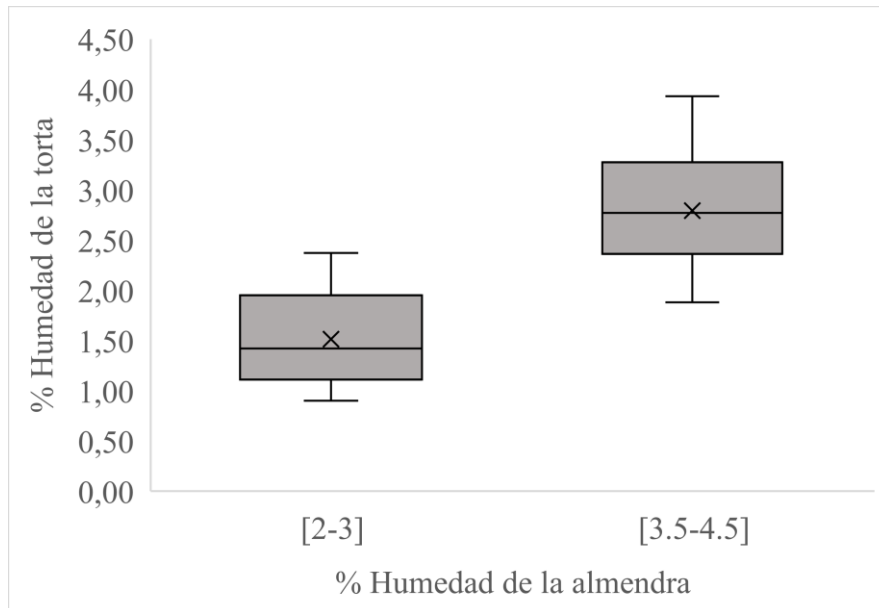


En la Figura 10, se observa el diagrama de caja y bigotes de la humedad de la almendra, donde se observa que para humedades de almendra de 3.5 – 4.5%, el promedio de la humedad de la torta está en 3% el máximo en 4% y el mínimo en 2%; mientras que, para humedades de almendra inferiores, el promedio de la humedad de la torta está en 1.5%.

La humedad de la almendra afecta la humedad de la torta de palmiste de manera directa, en la NTC 770 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2019), se reporta una humedad de la torta de palmiste es de máximo 12%, aunque no se habla de un mínimo, se encontró que, para consumo animal, el valor de la humedad debe ser de 3,9% (CONtextoganadero, 2014), además, en campo se observó que Con una humedad inferior al 2%, los equipos estallaban y expulsaban mayor cantidad de humo.

Figura 10

Diagrama de caja y bigotes de la humedad de la torta.



5.2.2 Mantenimiento.

Durante cada mantenimiento de los equipos, no se lograba mantener las medidas precisas de las partes del expeller, lo que afectaba la capacidad del equipo. Además, se dificultaba el proceso de mantenimiento debido a la falta de repuestos reconstruidos disponibles. El proceso de reconstrucción era casi artesanal, con medidas aproximadas tomadas de forma visual.

En el expeller 6 se llevaron a cabo tres mantenimientos, durante los cuales se recopiló información sobre la capacidad de procesamiento del equipo. La Figura 11 muestra que la media de capacidad varió entre el primer y el segundo mantenimiento, con un aumento de casi 100 [kg/h]. Por otra parte, en la Figura 12 se observa que las pérdidas de aceite en la torta fueron inferiores al 11% en el mantenimiento uno, indicando un mejor desempeño del equipo en esta condición. Es importante que los operarios encargados de la reconstrucción de los sinfines mantengan las

medidas adecuadas para evitar afectar la capacidad del equipo y mantener el proceso estandarizado.

Durante el tercer mantenimiento se detectó un desgaste en la canasta del expeller, lo que provocó que la torta de palmiste saliera por los lados, tal como se puede observar en la Figura 13. Este desgaste también se tradujo en un aumento en la cantidad de sólidos presentes en el aceite, llegando a un valor del 25%, tal como se puede apreciar en la Figura 14.

Para abordar los problemas identificados, es necesario establecer medidas estandarizadas para los equipos y controlar la reconstrucción de sus partes, manteniendo las medidas y formas originales, así como controlando las horas de reconstrucción. Esto ayudará a minimizar los efectos del mantenimiento en las condiciones de operación y, por lo tanto, en el proceso de producción.

Figura 11

Gráfica de la media de la capacidad según el mantenimiento.

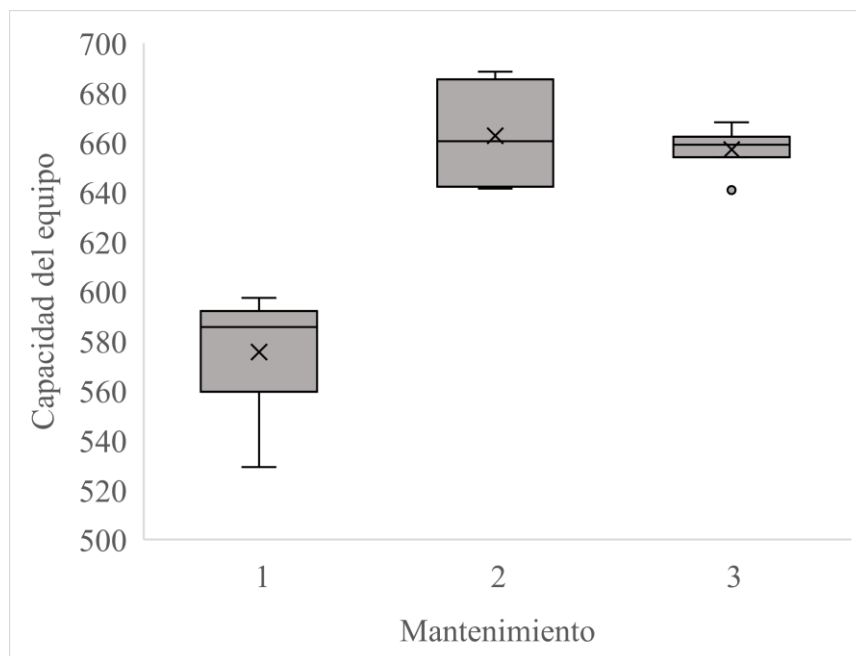
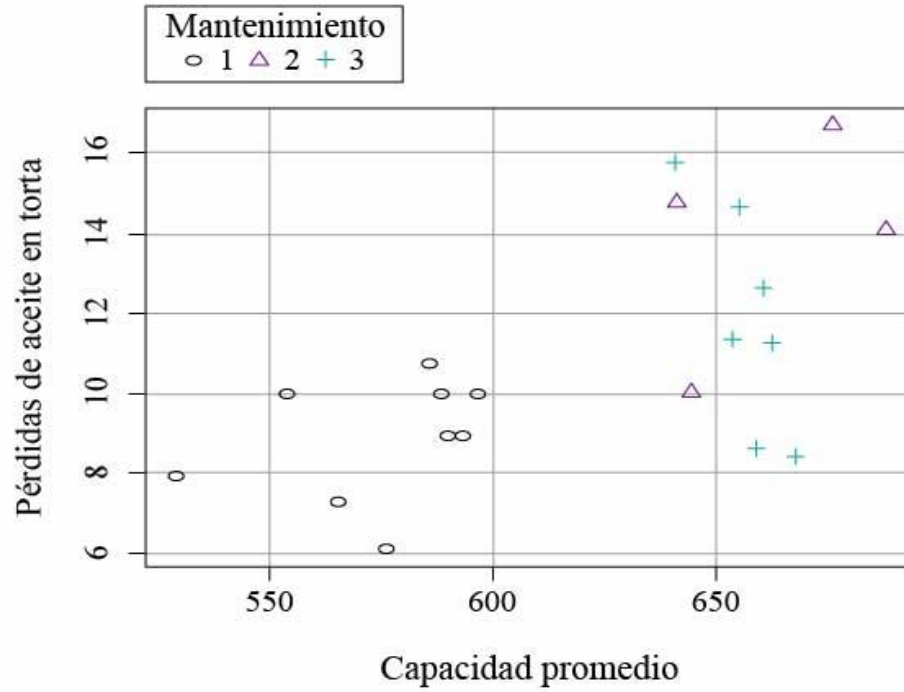


Figura 12

Gráfica de dispersión de pérdidas vs capacidad.

**Figura 13**

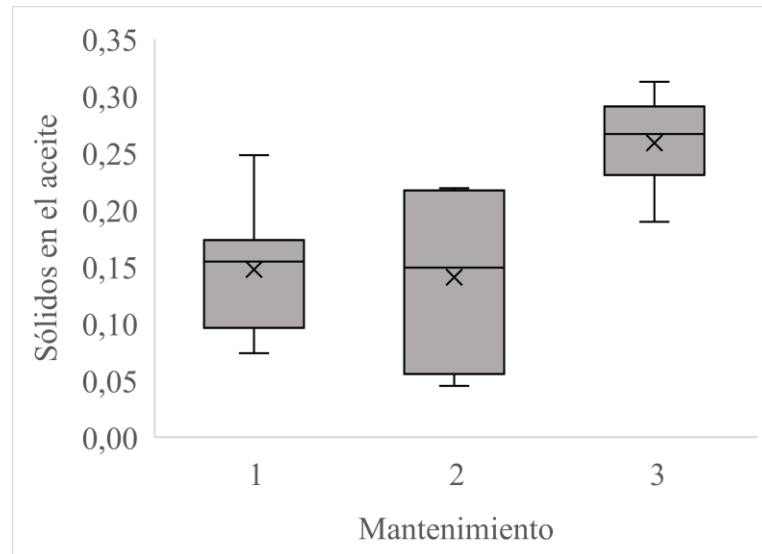
Expeller con canasta desgastada (mantenimiento 3).



Nota. Imagen tomada en planta.

Figura 14

Diagrama de caja y bigotes de sólidos presentes en el aceite.



5.2.3 Diseño de Experimentos.

En el diseño no se tuvieron en cuenta las horas de trabajo del equipo y se tomaron las muestras durante las primeras horas de operación tras el mantenimiento. Con la prueba Anova para el análisis de las tres variables: humedad de la almendra, amperaje y capacidad de los expellers se encontró:

Los datos presentan una distribución normal y se observa que solamente el amperaje y la capacidad tienen un efecto significativo en el porcentaje de pérdidas de aceite en torta, con un valor p de $[5,9 \times 10]^{-7}$ y $[9,81 \times 10]^{-5}$ respectivamente y un intervalo de confianza del 95%, según se muestra en la Tabla F 2.

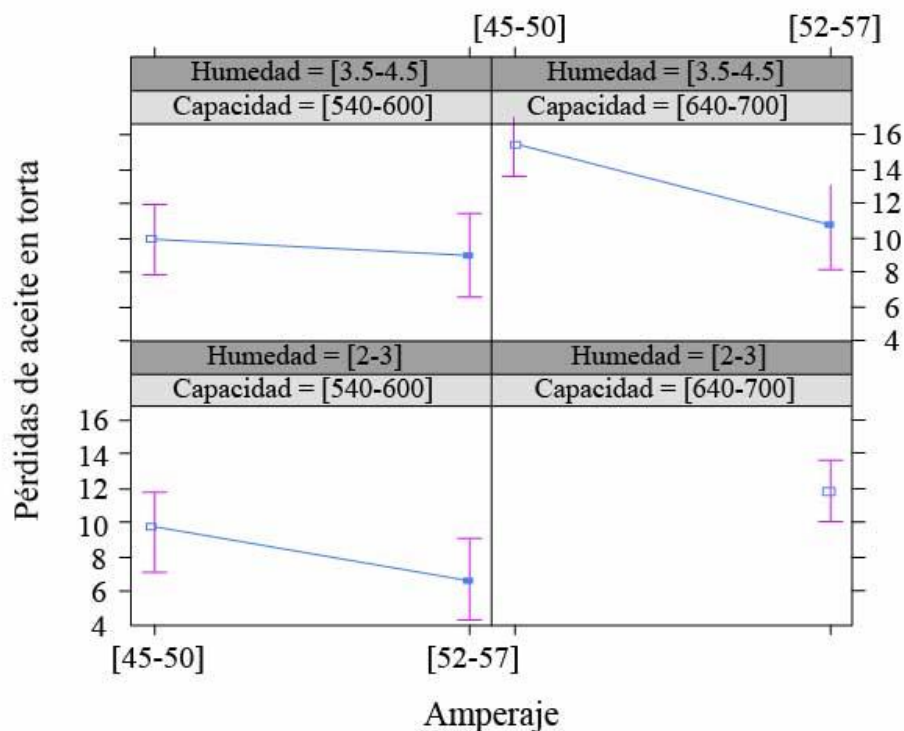
La figura 15, sobre los efectos de las variables, muestra una falta de datos para los valores de amperaje entre 45 y 50 [A], con una humedad del 2-3% y una capacidad superior a 640 kg/h. Esto se debe a que no se pudo ajustar el amperaje a valores inferiores a 50 [A], aunque se intentó ajustando el cono. Además, se observa un aumento en la pérdida promedio (~16%) cuando la

capacidad se incrementa de 640 a 700 kg/h, con una humedad del 3.5-4.5% y un amperaje de 45-50 [A]

La eficiencia de la operación fue analizada mediante la ecuación 4. En las Figura 16, Figura 17, y Figura 18 se puede observar la dispersión de puntos de cada variable en relación con el porcentaje de pérdidas de aceite en la torta y la eficiencia de extracción. Al comparar las tres figuras, se puede apreciar que la eficiencia es mejor cuando la capacidad se encuentra en el rango de 540-600 kg/h, tal como se muestra en la Figura 16.

Figura 15

Gráfica efectos de las variables.



Basándonos en los resultados obtenidos, podemos concluir que las condiciones óptimas para la extracción son una capacidad de 540 a 600 kg/h y un amperaje de 52 a 60 [A]. Al utilizar estas condiciones, se logró una eficiencia promedio de extracción del 91,08% y un porcentaje de pérdida de torta promedio del 7,82%. No obstante, según la NTC 770, el porcentaje mínimo de aceite en la torta de palmiste es del 8%. Por lo tanto, para cumplir con esta norma, se puede trabajar con la misma capacidad y un amperaje de 45 a 50 [A], lo que resultaría en una eficiencia promedio de extracción del 90,37% y un porcentaje de pérdida de torta promedio del 9,73%. Además, según las recomendaciones técnicas y bibliográficas, se sugiere trabajar con humedades superiores al 3%.

Figura 16

Gráfica dispersión de la capacidad.

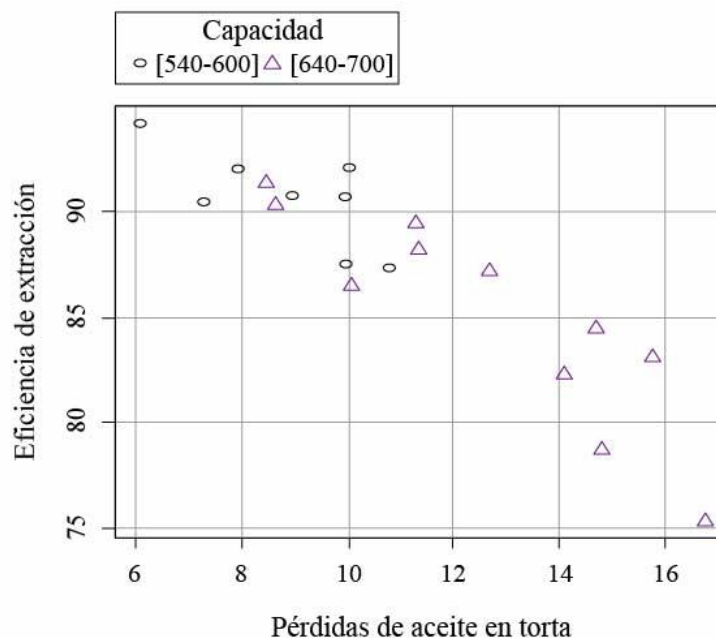


Figura 17

Gráfica dispersión de la humedad.

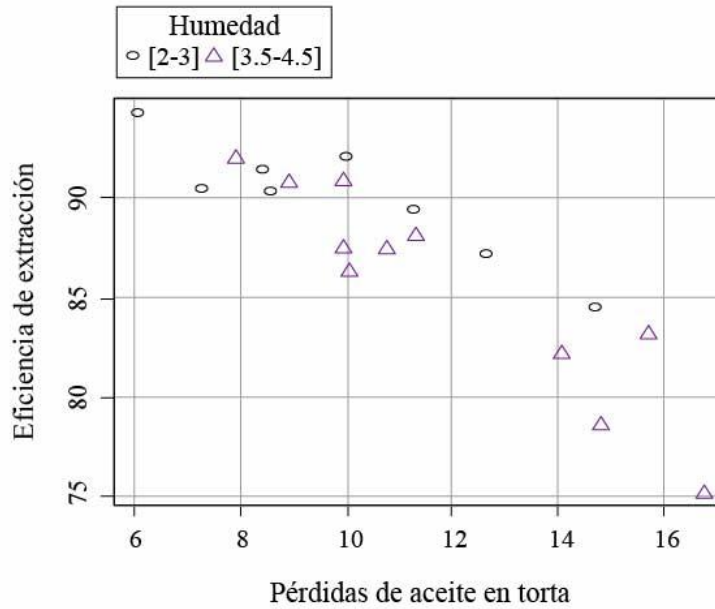
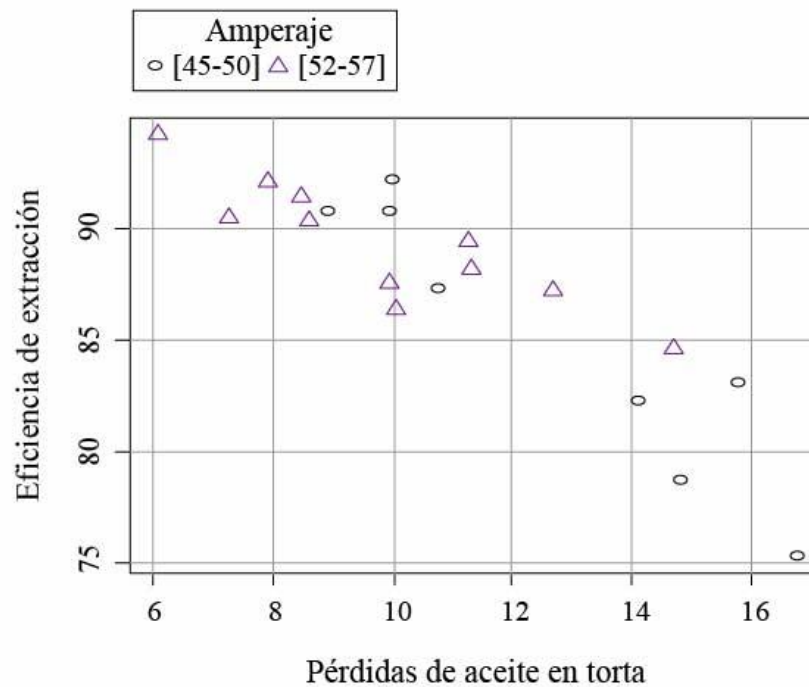


Figura 18

Gráfica de dispersión del amperaje.



5.3 Recomendaciones.

Debido al alto grado de complejidad y dificultad del experimento, se recomienda realizar una nueva replicación después de haber estandarizado el mantenimiento. Para mejorar la calidad del análisis, se deben considerar factores adicionales como las horas de trabajo del equipo, el número de reconstrucciones de las piezas y los porcentajes de desgaste. Es importante tener en cuenta que este trabajo debe considerarse como base de análisis para futuras investigaciones.

En el siguiente ítem se realizaron algunas observaciones para recomendar mejoras en el proceso de extracción de aceite de palmiste.

5.3.1 Capacidad Expeller DY20 Malayo.

Los equipos DY20 malayos, denominados expellers 3 y 4, fueron diseñados con un motor de casi 90 [hp] y se espera que procesen hasta 700 kg/h de almendra seca. Sin embargo, en la práctica, se encontró que solo procesan de 400 a 500 kg/h, lo que supone un desaprovechamiento de casi 200 kg/h. Este bajo rendimiento afecta la producción de aceite de palmiste. Por esta razón, se han realizado modificaciones en las canastas y en la boquilla de alimentación de los equipos, con el objetivo de aumentar su capacidad y observar cómo estas modificaciones influyen en las pérdidas de aceite en la torta de palmiste.

Se llevó a cabo una modificación en la canasta, reemplazándola por una de mayor capacidad de 600 kg y con un diámetro interno de 176 [mm]. Debido a que esta canasta es más corta que la anterior en 60 cm, se agregaron dos platinas (ver Figura 19) para alcanzar la longitud requerida y adaptarse a los bastidores. También se realizaron modificaciones en los orificios de los tornillos que ajustan la canasta en la boquilla de alimentación.

Figura 19

Fotografía en planta de las platinas.



Nota. Imagen tomada en planta.

Se recogió información del equipo, después de las modificaciones, con el objetivo de realizar seguimiento y comparar los resultados, la Tabla 7, muestra un resumen de los datos recogidos durante un mes.

Tabla 7

Datos expeller 3 modificado.

	Capacidad [kg/h]	Pérdida de aceite en torta [%]
Promedio	627	14
SD	18	3
CV	3%	22%
Máximo	660	20
Mínimo	595	9

En la Figura 20, se muestra el porcentaje de pérdidas de aceite en la torta en función de la frecuencia de observaciones. Se observa que la frecuencia más alta se sitúa entre el 10% y el 12%.

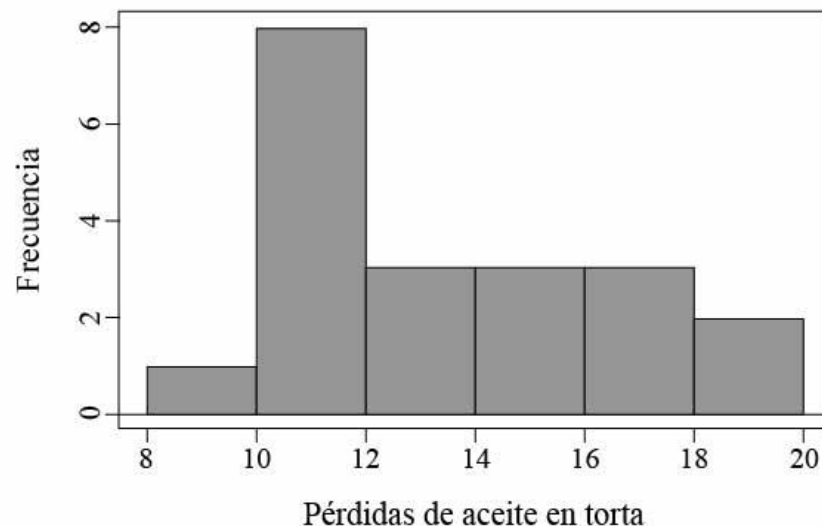
Se pudo observar que en este caso se logró aumentar la capacidad del equipo DY20 malayo a un promedio de 626,86 kg/h, lo que representa un incremento de casi 200 kg/h en comparación

con los datos analizados de enero a julio. Durante las pruebas realizadas, se observó que el historial de amperaje no superó los 65 [A] y las pérdidas se mantuvieron en un promedio de 13,54%, un valor aceptable para el proceso, aunque susceptible de mejora.

Para mantener esta capacidad, se recomienda realizar un rediseño de la canasta, la boquilla de alimentación y el contra-cono, aumentando el diámetro interno a 176 [mm].

Figura 20

Gráfica de frecuencia de pérdidas de aceite en torta.



5.3.2 Dimensiones Generales para Monitoreo de los Expellers

Para prolongar la vida útil de las piezas y garantizar la continuidad del proceso, se sugiere realizar un cambio planificado y controlado de las mismas. Además, es recomendable que la pieza retirada sea reparada mediante soldadura, manteniendo en la medida de lo posible sus dimensiones originales (consulte el Apéndice G para obtener más información). De esta manera, se logrará una mayor eficiencia del equipo y se reducirán los tiempos de inactividad por reparaciones.

Para estandarizar el proceso de reconstrucción y mejorar la extracción de aceite de palmiste, se propone el uso de una tabla de seguimiento para controlar los cambios y reconstrucciones de las partes de los expellers, junto con las horas de trabajo y el número de reconstrucciones de cada pieza. Esta tabla se puede encontrar en el Apéndice H y es esencial para mantener la forma y medidas de las piezas. De esta forma, se puede asegurar que el mantenimiento de las piezas sea adecuado y que el proceso de extracción de aceite de palmiste sea más eficiente.

Otra forma de mejorar el proceso de extracción de aceite de palmiste es mediante el uso de herramientas digitales y big data. Al recopilar y analizar datos sobre el rendimiento del expeller, es posible identificar patrones y tendencias que puedan indicar problemas en el equipo o áreas de mejora en el proceso. Esto puede ayudar a los operadores a tomar decisiones informadas sobre cuándo cambiar piezas, qué ajustes hacer en el proceso y cómo optimizar la producción.

5.3.3 Relación de la Humedad con el Amperaje del Expeller.

Para realizar ajustes en el amperaje del equipo, se requiere graduar la puntera, un procedimiento complejo que interrumpe el proceso de extracción. Durante la práctica, se evidenció que la humedad afecta el amperaje del equipo. Para comprobarlo, se realizó una prueba ajustando la puntera a un nivel específico y observando el cambio en el amperaje al variar la humedad de la almendra.

En las Figura 21 y Figura 22 se presentan los valores de humedad y amperaje para distintos pares de datos que tenían el mismo nivel de ajuste de la puntera, pero variando solamente el valor de entrada de la humedad. Se observa una diferencia en el porcentaje de pérdida de aceite, lo que sugiere que la humedad afecta el proceso, si no se ajusta el nivel del contra cono para aumentar o disminuir el amperaje según sea el caso. Además, se ha identificado que, a mayor humedad, el amperaje tiende a disminuir, por el contrario, a menor humedad, el amperaje tiende a aumentar.

Figura 21

Gráfico comparativo del efecto del cambio de humedad.

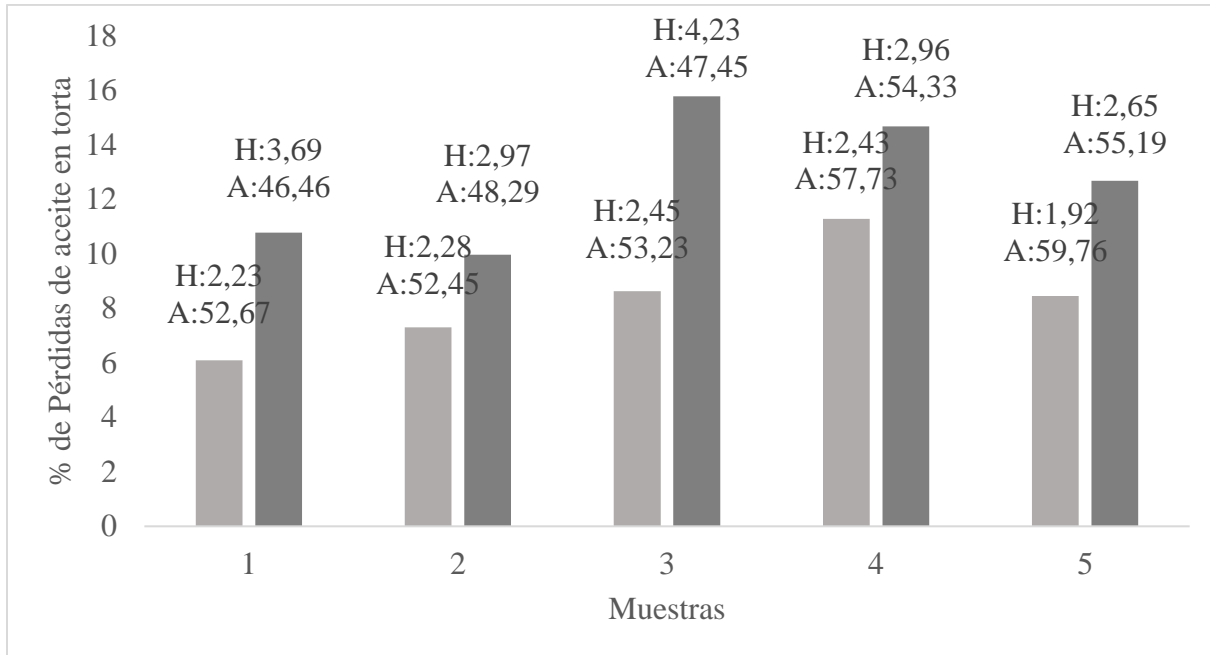
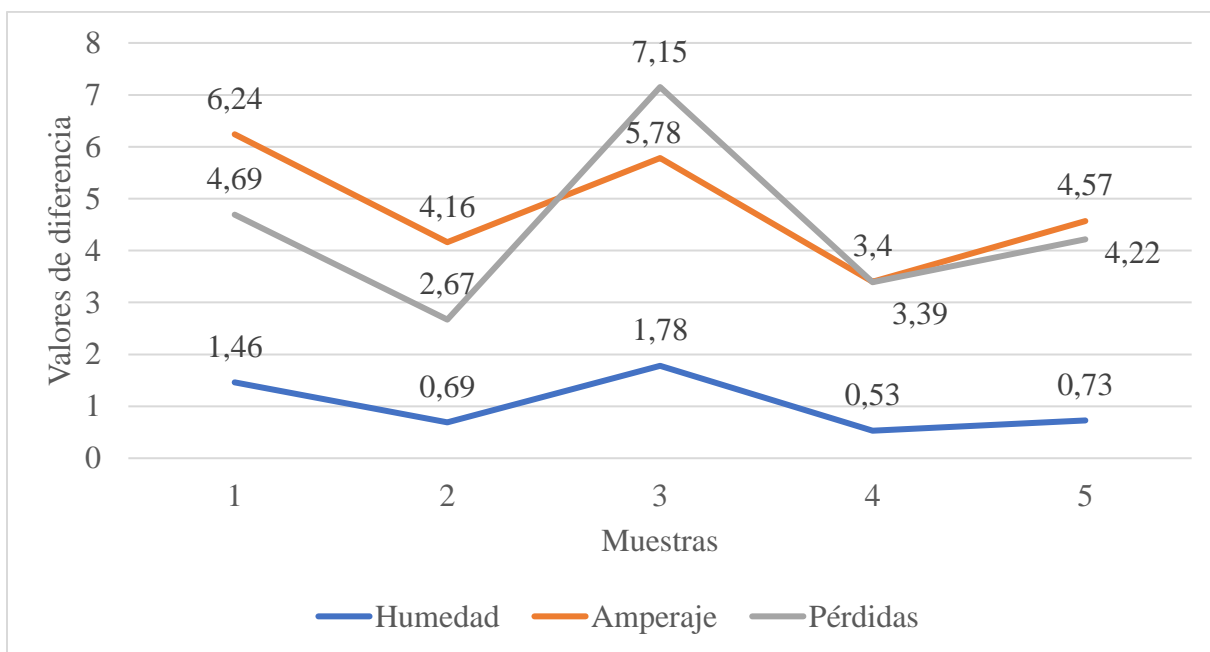


Figura 22

Gráfico de la diferencia de los valores con el cambio de humedad por muestra realizada.



6 Conclusiones

En el diagnóstico realizado de la operación, se encontró la necesidad de estandarizar el proceso y mejorar el control del mantenimiento de las piezas clave del expeller. Además, se observó que es importante mejorar las prácticas de los operarios, tales como cumplir con los tiempos establecidos para la toma de muestras y controlar el flujo de salida de los silos de secado de almendra que alimentan el expeller.

Para cumplir con la norma NTC 770 que regula el uso de la torta de palmiste como alimento animal, se requiere un adecuado control de la humedad en su producción. Durante la inspección en planta, se encontró que los valores de humedad de la almendra en operación podían descender hasta el 1%, lo que disminuye el valor de la humedad de la torta de palmiste resultante. Además, se observó en campo, que valores bajos de humedad generaban mayor cantidad de humo y ruido en los expellers al triturar la almendra. Es importante destacar que estos factores pueden afectar la calidad de la torta de palmiste y, por lo tanto, su aptitud para el consumo animal. Por tanto, se sugiere implementar medidas de control para evitar valores bajos de humedad en la almendra y asegurar la calidad de la torta de palmiste.

La variabilidad en las medidas de restauración de las partes del equipo puede generar cambios en la capacidad, lo que a su vez provoca un incremento en el porcentaje de pérdida de aceite en la torta y en el porcentaje de sólidos en suspensión del aceite. Adicionalmente, trabajar con capacidades superiores a la nominal puede ocasionar fallas en el equipo. Es fundamental implementar una estandarización en la restauración de las partes del equipo para evitar estas situaciones.

Después de analizar los 3 factores, se concluyó que solo la capacidad y el amperaje del expeller tienen un efecto significativo en el porcentaje de pérdidas de aceite en torta. Se

recomienda trabajar con valores de capacidad inferiores a la nominal, con los mejores valores de operación de 540 a 600 [kg/h] o inferiores. En cuanto al amperaje, se puede trabajar con valores de 45-50 [A], ya que estos valores presentaron un porcentaje de pérdidas de 9,73% y una eficiencia de extracción de 90,37%, lo cual es aceptable para el proceso. También se recomienda trabajar con humedades superiores a 3% e inferiores a 5%. Sin embargo, se sugiere replicar este estudio después de estandarizar las medidas de reconstrucción considerando las horas de trabajo del expeller y las reconstrucciones de las piezas.

Los equipos DY20 malayo poseen un gran potencial para incrementar la capacidad de procesamiento y mejorar los rendimientos de extracción en la planta. Asimismo, es crucial controlar las fluctuaciones en la humedad de la almendra para mantener un proceso estable y eficiente.

Referencias Bibliográficas

- A.K. Cowan, B. N. W. 2013. (2013). *Small scale vegetable oil extraction*. Crown Copyright.
- Akinoso, R., & Igbeka, J. C. (2007). Modeling of oil expression from palm kernel. *Journal of Food Science and Technology*, 44(4), 360–362.
- Akinoso, R., Raji, A. O., & Igbeka, J. C. (2009). Effects of compressive stress, feeding rate and speed of rotation on palm kernel oil yield. *Journal of Food Engineering*, 93(4), 427–430. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.02.010>
- Antonio Guoron. (2011). *Cultivo de palma africana*. <http://cultivodepalmaafricana.blogspot.com/2011/>
- Beerens, P. (2007). Screw-pressing of Jatropha seeds for fuelling purposes in less developed countries. *Eindhoven University of Technology Department of Sustainable Energy Technology*, 11–37.
- CONtextoganadero. (2014, May 26). *Torta de palmiste, valiosa fuente de energía para ganado*. Ganaderia Sostenible.
- Corrado, F., & Kamerunicus, E. (1984). *La Conformación de los Racimos de la Palma Africana en las Plantaciones de Colombia*.
- Ezeoha, S. L., Akubuo, C. O., Odigboh, E. U., & Arallo, M. (2017). Performance evaluation of Magnus screw press (Model MS-100) for palm kernel oil extraction. *Nigerian Journal of Technology*, 36(2), 636. <https://doi.org/10.4314/njt.v36i2.40>

Fedepalma. (2020). *La Palma de Aceite en Colombia*. <https://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-en-colombia-departamentos>

Francisco Javier Marco Sanjuán. (2020). *Coefficiente de variación*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/coeficiente-de-variacion.html>

Galarraga, Y. O. (2015). *Diseño de una prensa de tornillo tipo expeller para la extracción de aceite vegetal virgen de la semilla de maíz, para uso comestible*. (Vol. 151, pp. 10–17). <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>

Hernández, C., Yáñez, E., & Granados, F. (2004). Manejo integrado de pérdidas de aceite y almendra. *Palmas*, 25(2), 418–424.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2019). *NORMA TÉCNICA NTC 770-3 COLOMBIANA ALIMENTOS PARA ANIMALES. TORTA DE PALMISTE E: ANIMAL FEEDING STUFFS. PALM KERNEL CAKE CORRESPONDENCIA: DESCRIPTORES: alimentación animal; torta de granos; torta de oleaginosas; torta de palmiste*.

Khan Academy. (2018). *Calcular la desviación estándar paso a paso*. <https://es.khanacademy.org/math/probability/data-distributions-a1/summarizing-spread-distributions/a/calculating-standard-deviation-step-by-step#:~:text=Paso%201%3A%20calcular%20la%20media,entre%20el%20n%C3%BAmero%20de%20datos>.

Khan, L. M., & Hanna, M. A. (1983). Expression of oil from oilseeds-A review. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 28(6), 495–503. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(83\)90113-0](https://doi.org/10.1016/0021-8634(83)90113-0)

McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. (McGraw-Hill, Ed.; séptima ed).

Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. (E. Limusa, Ed.; segunda ed).

Mujica, C. (2010). *Evolución del sector palmicultor*.

Natalia Chavez Contreras. (2017). *PLAN DE MANEJO AMBIENTAL*.

Okoye, C. N., Jiang, J., & Hui, L. Y. (2008). Design and development of secondary controlled industrial palm kernel nut vegetable oil expeller plant for energy saving and recuperation. *Journal of Food Engineering*, 87(4), 578–590. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.030>

Olusegun, D. S., & Ikuobase, E. (2018). The development of expeller for palm Kernel based seed and its oil characterization. *International Journal of Integrated Engineering*, 10(1), 176–181. <https://doi.org/10.30880/ijie.2018.10.01.026>

Palmeras de Puerto Wilches. (2019). *Manual del expeller*.

Pantzaris, T. P., & Jaaffarahmad, M. (2002). Propiedades y usos del aceite de palmiste. *Palmas*, 23(3), 46–58.

PPW. (2020). *Palmeras de Puerto Wilches S.A.* <https://www.palmwil.com/>

R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.

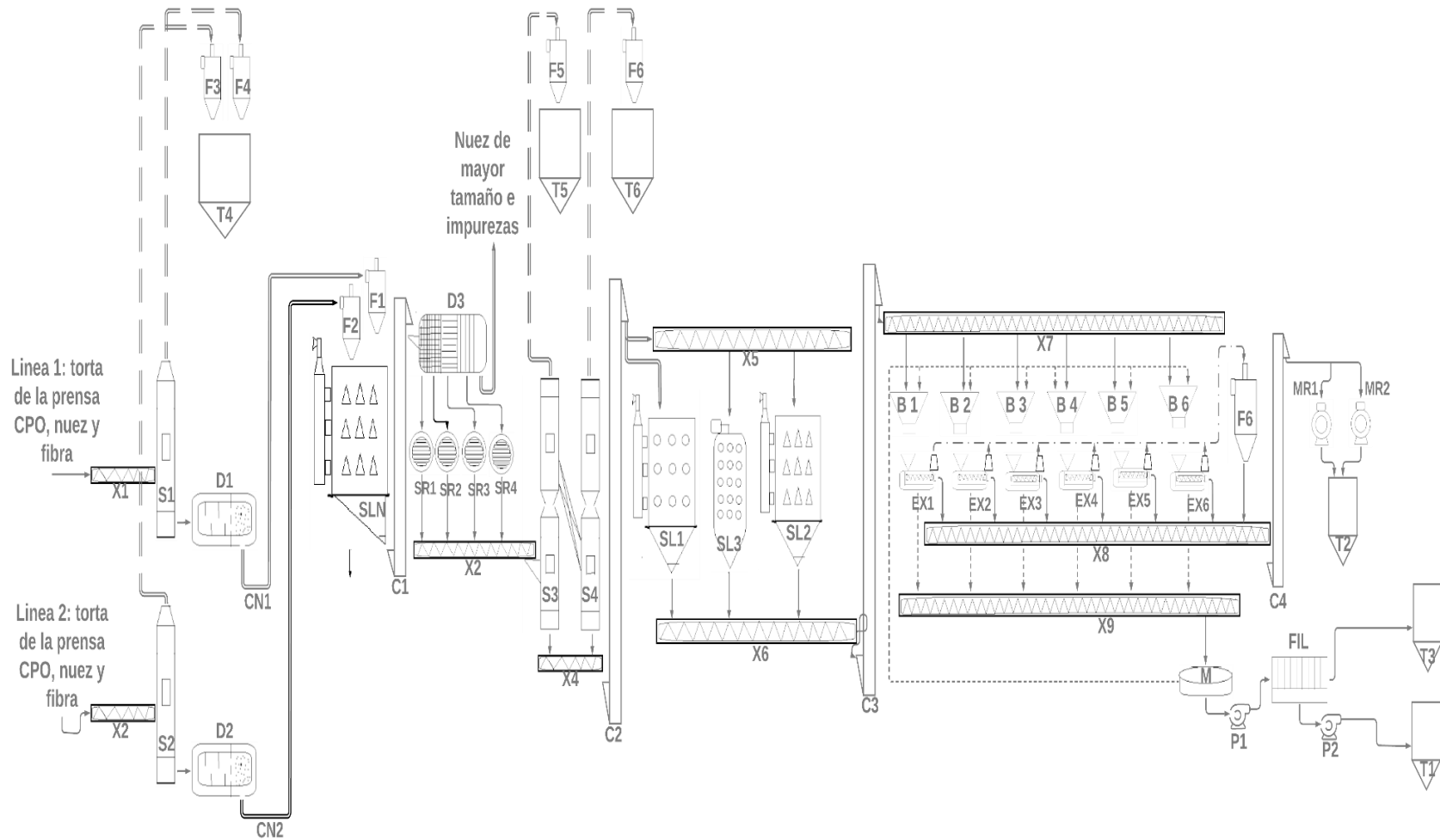
Thin Sue, T. (1992). Calidad actual del palmiste y del aceite de palmiste. *Palmas*, 13(4), 55–66.

<http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/361>

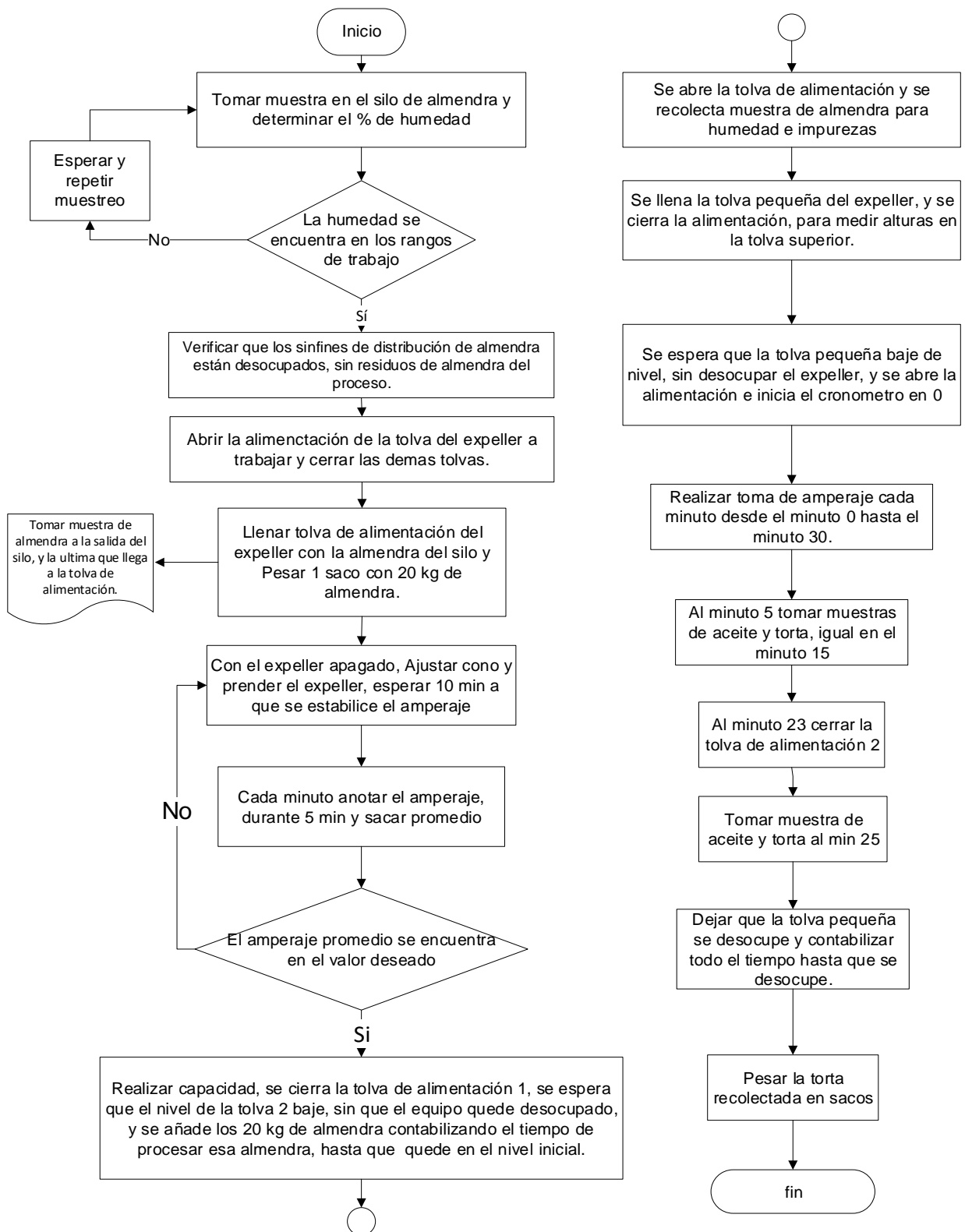
Wambeck, N. (1999). *Sinopsis del proceso de la palma de aceite* (Fedepalma, Ed.; Vol. 1).

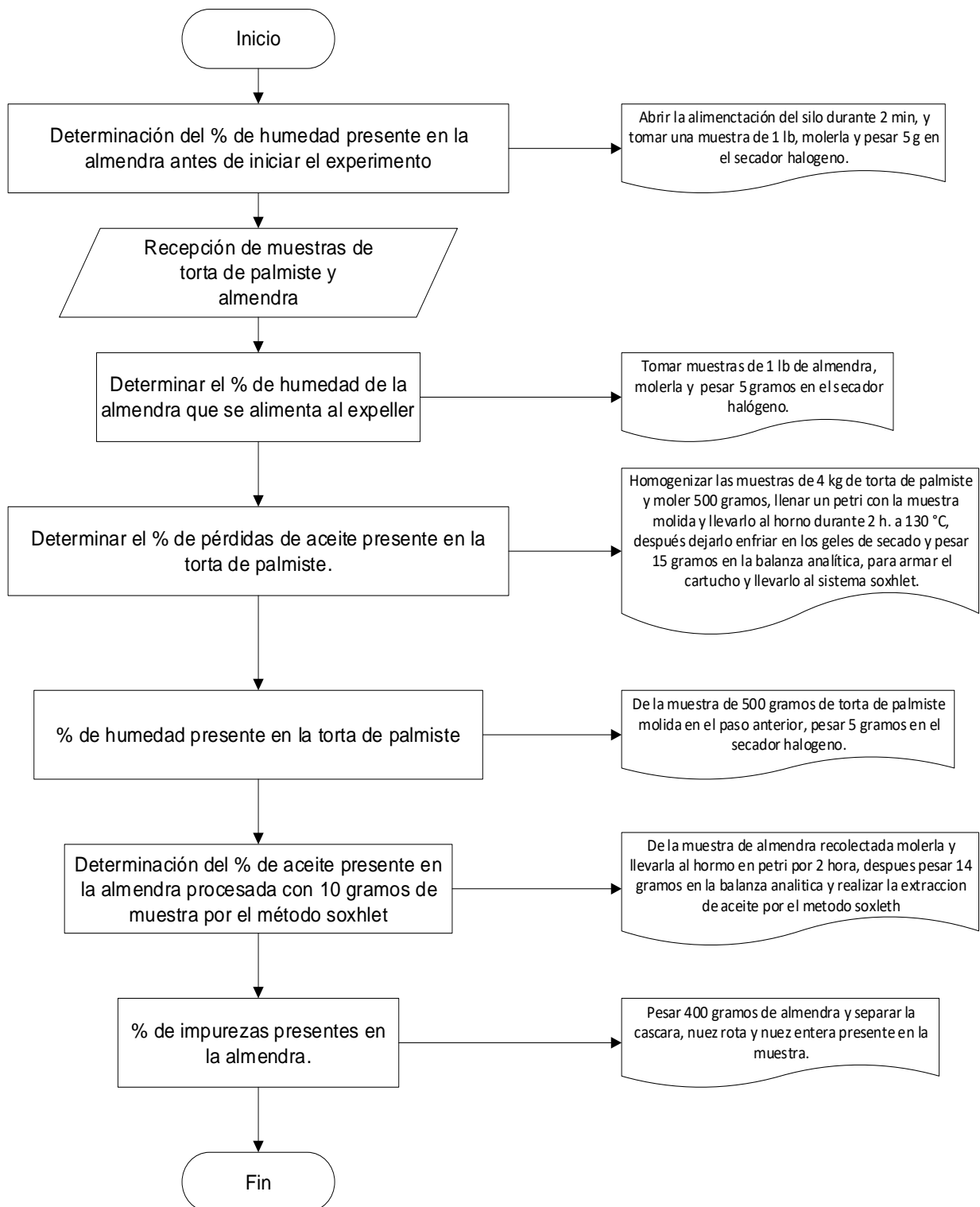
Apéndices

Apéndice A Diagrama de flujo de palmistería (producción PKO).



Nombre	Descripción	Nombre	Descripción	Nombre	Descripción
B1	Tolva de almendra del expeller 1	F4	Ciclón de fibra, línea 2	T5	Tanque de almacenamiento de finos
B2	Tolva de almendra del expeller 2	F5	Ciclón de finos	T6	Tanque de almacenamiento de cáscara
B3	Tolva de almendra del expeller 3	F6	Ciclón de cascara	X1	Sinfín torta CPO, línea 1
B4	Tolva de almendra del expeller 4	F7	Ciclón de torta de palmiste	X2	Sinfín torta CPO, línea 2
B5	Tolva de almendra del expeller 5	FIL	Filtro prensa de aceite	X3	Sinfín salida de rompedores
B6	Tolva de almendra del expeller 6	M	Tamiz vibratorio aceite de palmiste	X4	Sinfín almendra e impurezas
C1	Elevador de cangilones de nuez	MR1	Molino martillo 1	X5	Sinfín almendra e impurezas 2
C2	Elevador de cangilones de almendra húmeda	MR2	Molino martillo 2	X6	Sinfín almendra seca
C3	Elevador de cangilones de almendra seca	P1	Bomba de aceite	X7	Sinfín distribuidor de almendra
C4	Elevador de cangilones de torta de palmiste	P2	Bomba de aceite terminado	X8	Sinfín torta de palmiste
CN1	Elevador neumático de nuez, línea 1	S1	Separador de fibra, línea 1	X9	Sinfín aceite de palmiste
CN2	Elevador neumático de nuez, línea 2	S2	Separador de fibra, línea 2		
D1	Tambor pulidor de nuez, línea 1	S3	Separador neumático de finos		
D2	Tambor pulidor de nuez, línea 2	S4	Separador neumático de cascara		
D3	Tambor clasificador de almendra	SL1	Silo de almendra 1		
EX1	Expeller 1	SL2	Silo de almendra 2		
EX2	Expeller 2	SL3	Silo de almendra 3		
EX3	Expeller 3	SLN	Silo de nuez		
EX4	Expeller 4	SR1	Rompedor de nuez 1		
EX5	Expeller 5	SR2	Rompedor de nuez 2		
EX6	Expeller 6	SR3	Rompedor de nuez 3		
F1	Ciclón de nuez, línea 1	SR4	Rompedor de nuez 4		
F2	Ciclón de nuez, línea 2	T1	Tanque de almacenamiento de aceite de palmiste		
F3	Ciclón de fibra, línea 1	T2	Tanque de almacenamiento de torta de palmiste		
		T3	Tanque de almacenamiento de chocolatina		
		T4	Tanque de almacenamiento de fibra		

Apéndice B Metodología del diseño de experimentos.

Apéndice C Metodología de pruebas en laboratorio.

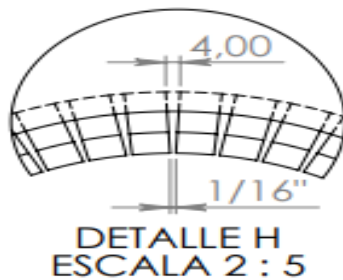
Apéndice D Partes principales del expeller.

Canasta: al interior los diámetros de las ranuras de las canastas son más pequeños que en el exterior. Se necesita de una canasta superior y una canasta para la parte inferior para cubrir el tornillo y dar forma de cilindro, donde será transportada y triturada la almendra. (ver Figura D 1).

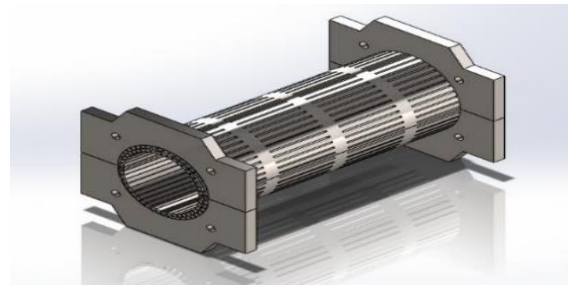
Figura D 1.

Canastas superior e inferior y orificios.

a. Tamaño orificios de las canastas.



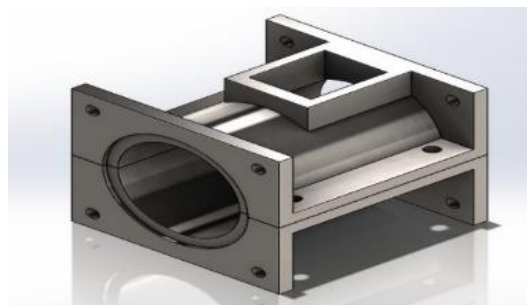
b. Canasta superior e inferior, unidas.



Boquilla de alimentación: como se muestra en la Figura D 2, la boquilla también tiene dos partes, y es por donde ingresa la almendra al expeller, esta pieza va después del bastidor de rodamientos y aloja al sinfín #1; la boquilla va atornillada con la canasta.

Figura D 2.

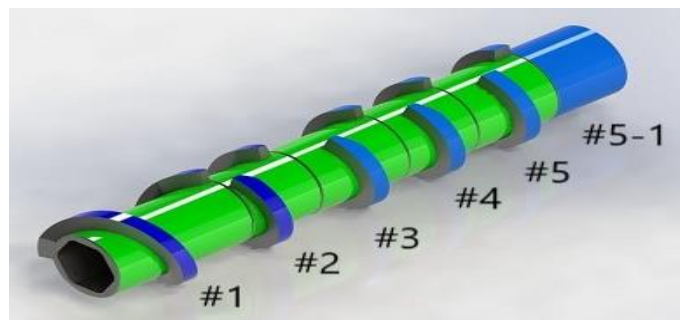
Boquilla de alimentación.



Sinfines: los sinfines se ajustan en el eje principal del equipo, cuentan con unas aspas o aletas, y cada sinfín tiene un diámetro de cuerpo diferente, que va en aumento de menor a mayor numerado así: desde el sinfín #1 hasta el sinfín #5-1; ver Figura D 3, los sinfines #1 y 2, se encargan principalmente de arrastrar la almendra a través del equipo, y los sinfines #3, 4, 5 y 5-1 de transportarla y triturarla.

Figura D 3.

Sinfines.



Contra- cono o contra- puntera: Esta pieza va ensamblada dentro del bastidor porta cono y es lo que sigue después del sinfín #5-1; por ella, sale la torta de palmiste, ver Figura D 4, y se aloja el cono o puntera, con la cual se reduce el área de paso para exprimir el aceite de la almendra.

Figura D 4.

Contra – cono.

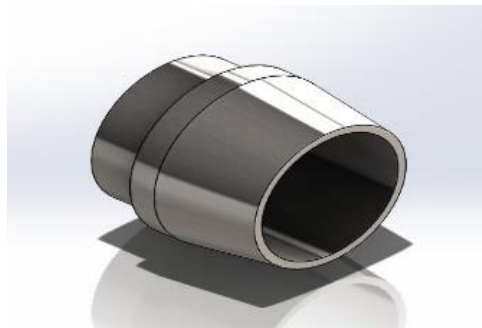


Cono o Puntera: ver Figura D5, esta parte del equipo es la que se gradúa en el tornillo para reducir el área de paso de la almendra, y así, extraer el aceite y la torta de palmiste. Se aloja entre el tornillo y el contra cono, y entra en contacto con el sinfín#5.1 para recibir la almendra y exprimir el aceite.

El cono o puntera de contrapresión se gradúa con respecto a niveles de amperaje, generando una modificación en el área de paso de salida de la torta al interior del expeller, que depende de las condiciones de la almendra y diseño del equipo; a mayor amperaje, menor área de salida; y a menor amperaje, mayor área. Diámetros muy pequeños podrían, aumentar la temperatura, causar bloqueos al interior del expeller y aumentar la cantidad de sólidos en el aceite (A.K. Cowan, 2013), cabe resaltar que diámetros mayores aumentan las pérdidas de aceite en la torta.

Figura D 5.

Puntera o cono.



Apéndice E *Mantenimiento*

Con la interacción con los técnicos encargados del mantenimiento se registró:

El mantenimiento del equipo se realiza cada 200 a 300 horas de trabajo, donde, se abre el equipo y se cambian los sinfines (caracoles), número 3 al 5 en cada mantenimiento; y se revisaba el estado de los sinfines número 1 y 2; las canastas y las cuchillas en dado caso se cambian o no, al igual que la boquilla de alimentación, todo de forma visual.

Se observó que el contra- cono, no se cambiaba con un tiempo determinado, y el cambio de la puntera también era muy visual y no dependía de las horas de trabajo, si no de la experiencia del mecánico.

De forma casi mensual, mas no controlada, se lubrican los rodamientos del expeller, y se revisa la lubricación de los rodamientos del reductor.

Mensualmente se realiza inspección al motor de los expellers, por medio de un estetoscopio, se escucha el sonido de los rodamientos para determinar si se necesita cambiarlos, se toma la temperatura con un pirómetro y se identifica si requiere una limpieza al ventilador.

La puntera o cono de contrapresión, tampoco llevaba un registro y en planta se evidencio que esta es la pieza más importante para controlar la extracción de aceite, ya que es la que genera la disminución del área de paso, causando el aumento de presión dentro del equipo para lograr la extracción del aceite de palmiste, con el seguimiento al cambio de piezas y la observación visual, se encontró que la puntera reconstruida perdía aproximadamente de 5 a 10 mm de largo a las 400 horas de trabajo.

Contra cono con el propósito de hacer que las piezas duren más y el proceso sea continuo se recomienda que a las 1400 – 1500 horas de trabajo del contra- cono, se cambie la pieza y la que se desmonta se reconstruya con soldadura, manteniendo en lo posible las medidas originales.

Apéndice F Prueba anova**Tabla F 1.***Prueba anova de la humedad de la torta de palmiste.*

Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Valor F	Valor crítico para F
Amperaje	0,85	1	2,2037	0,1525
Nivel de humedad	47,36	1	12,2600	0,002125 **
Amperaje y nivel de humedad	0,04	1	0,0937	0,7625
Residual	81,12	21		

Tabla F 2.*Prueba anova de las 3 variables.*

Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Valor F	Valor crítico para F
Amperaje	290,872	2	59,4465	$0,59 \times 10^{-7}$ ***
Capacidad	79,667	1	32,5638	$0,98 \times 10^{-5}$ ***
Humedad	0,446	1	0,1823	0,67693
Amperaje: Capacidad	8,627	1	3,5263	0,08491
Amperaje: Humedad	1,825	1	0,7459	0,40471
Capacidad: Humedad	6,448	1	2,6355	0,13046
Amperaje: Capacidad: Humedad		0		
Residual	29,358	12		

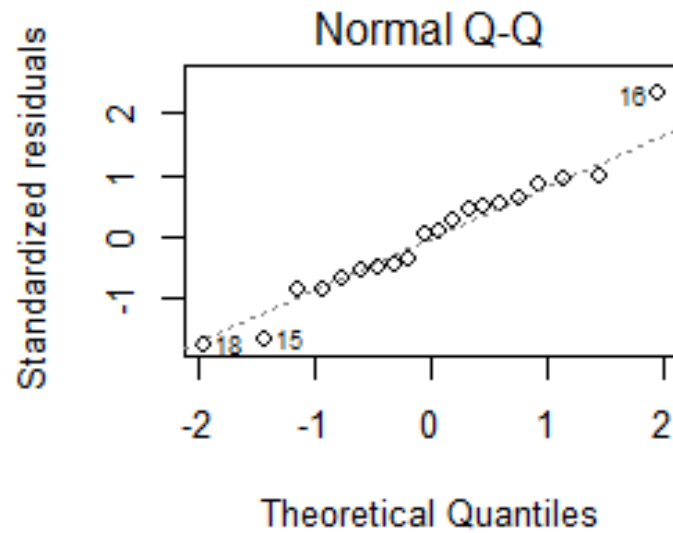
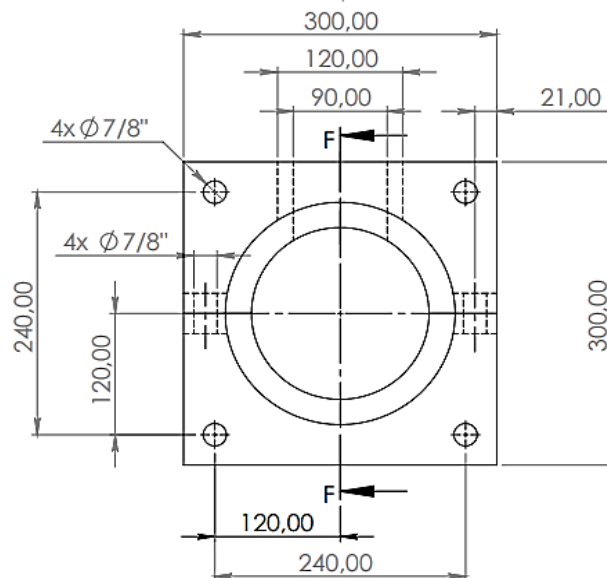
Figura F 3.*Prueba de normalidad de las 3 variables.***Apéndice G** *Dimensiones de las partes del expeller.***Figura G 1.***Vista frontal boquilla de alimentación DY20.*

Figura G 2.

Vista lateral de la boquilla de alimentación DY20.

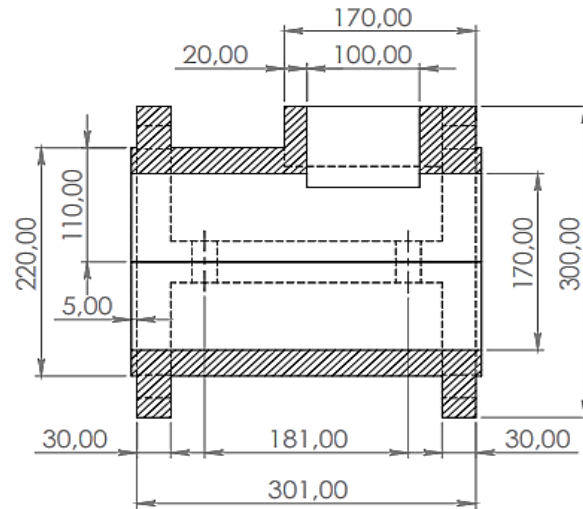


Figura G 3.

Medidas canasta DY20 malayo.

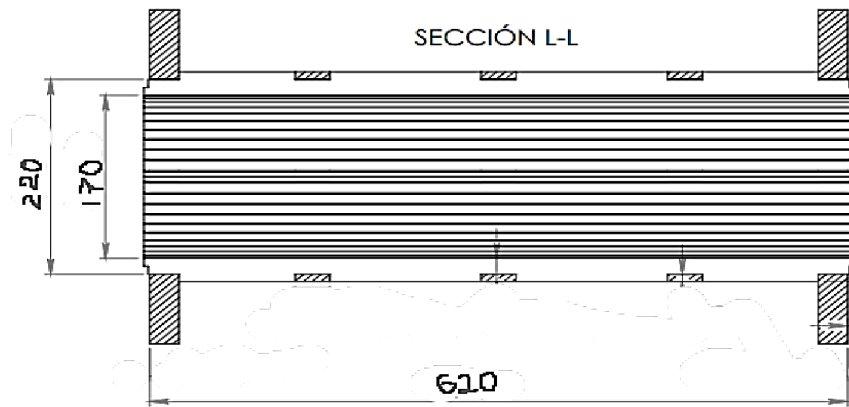
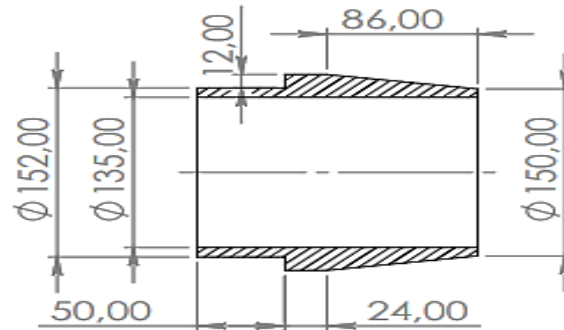
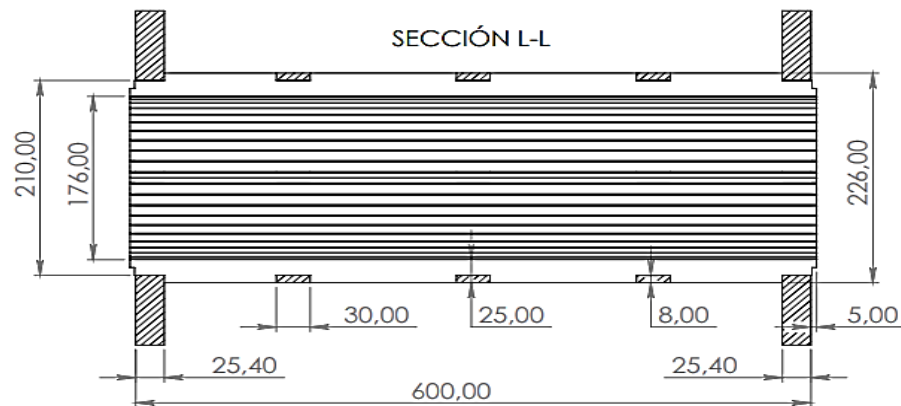


Figura G 6.*Medidas de la puntera.***Figura G 7.***Medidas del juego de canastas Inal 600 kg.*

Apéndice H *Tabla modelo, para el seguimiento del mantenimiento.*

Horómetro ultimo de mantenimiento	Horómetro actual	Horas trabajadas	Partes	Horas recomendadas	Horas faltantes para mantenimiento
			Sinfines 3 al 5-1	200	
			Cuchillas	400	
			Puntera	400	
			Sinfín #2	800	
			Sinfín #1	1000	
			Canasta	1000	
			contra cono	1400	

El horómetro ultimo de mantenimiento, es el dato de las horas de trabajo del expeller al que pertenece la pieza el día que fue instalada. El horómetro actual, es el horómetro del equipo día a día (es decir, cambia cada día de operación). Las horas trabajadas es la resta del horómetro actual con el último de mantenimiento. Las horas faltantes es la diferencia entre las horas recomendadas con las horas trabajadas.

Cuando la diferencia entre horas recomendadas con las trabajadas sea igual a cero, se debe realizar el respectivo mantenimiento de la pieza y/o cambio de esta. De igual forma, se debe llevar un control de cada pieza, con los números de reconstrucciones y horas totales de trabajo.