

**EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA DE PÉRDIDAS DE ALMENDRA
EN LAS COLUMNAS DE SEPARACION NEUMATICA DEL PROCESO DE
PALMISTERIA EN LAS PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE
PALMA AFRICANA DE LA ZONA CENTRAL.**

ADAN YOVANI LEON BERMÚDEZ.

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO
QUÍMICO.**

DIRECTOR

EDGAR FERNANDO CASTILLO MONROY

Profesor Titular-Escuela de Ingeniería Química

CODIRECTOR (ES).

EDGAR E. YAÑEZ. Inv. Auxiliar Cenipalma.

GUIDO A. SIERRA. Inv. Auxiliar Cenipalma.

CARLOS A. FERNANDEZ. Inv. Auxiliar Cenipalma.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUÍMICAS.

ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA.

BUCARAMANGA

2004.

**EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA DE PÉRDIDAS DE ALMENDRA
EN LAS COLUMNAS DE SEPARACION NEUMATICA DEL PROCESO DE
PALMISTERIA EN LAS PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE
PALMA AFRICANA DE LA ZONA CENTRAL.**

ADAN YOVANI LEON BERMÚDEZ.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUÍMICAS.
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA.
BUCARAMANGA**

2004

AGRADECIMIENTOS.

En el transcurso de este trabajo conté con el apoyo de forma directa e indirecta del organismo de CENIPALMA, del personal profesional y técnico, como de las personas del laboratorio de cada una de las plantas de beneficio visitadas en la zona central, en nuestro país; con gran sinceridad, agradezco a muchas personas de este sector de la agroindustria por su contribución aportada para mi experiencia en el mundo de la industria de la palma y por la confianza que asumieron, para la realización de este proyecto. Además reconozco la colaboración de todas estas personas, en el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en esta labor.

Especialmente quiero agradecer a las siguientes personas por su aporte ético y moral brindado en esta etapa de mi vida: Al profesor Edgar F. Castillo, a Edgar E. Yáñez, Carlos A. Fernández y Guido A. Sierra por su interés y respaldo constante en la investigación, al personal del laboratorio de Ingeniería Química, Luis Eduardo Carreño y Wilson E. Carreño por la experiencia de trabajo compartida.

**Con todo cariño y dedicación, agradezco
esté éxito a Dios, por la gran oportunidad
que ha dado a mi vida.**

**A mis padres Adan León y Ana Belén
Bermúdez, por su amor, apoyo y sacrificio
incondicional.**

**A mis hermanos por la confianza que
depositaron en cada momento.**

**A mi novia Adriana con quien he
compartido obstáculos, enseñanzas y
triumfos.**

**A todos mis amigos de los cuales tengo
grandes recuerdos.**

SUMMARY

Title: Technical and financial evaluation of almond losses in pneumatic separation columns of the palm industry process in the central region african palm oil extracting plants.*

Author: Adan Yovani León Bermúdez.**

Key words: Almond, losses, columns, pneumatic, extracting plants, palm oil.

The interest of this project allows us to offer a technical evaluation and efficiently operate the equipment used to harvest almond in pneumatic separation columns to improve the palm processing in the palm industrial sector.

The Palm Oil Research Center, CENIPALMA, (Centro de Investigación de Palma de Aceite¹), established the research and technical diagnosis in the process of almond harvesting in six extracting plants in the country's Central Region. We suggested improving faults in fiber-nut separation columns, given that this is the biggest losing point in the process.

Thanks to the established corrective measures in the pressing operation systems and the correct management of the separation speeds in the column body. We concluded that these variables are very important to control the loss of almond in the palm industry process.

Furthermore, the methods to evaluate some of the physical properties of the nut are included as well as the speeds of fiber and nut separation. Pertaining to dampness, these properties are used as parameter to evaluate the design in some equipment, such as the polishing drum, the classifying drum and the nut breakers operational conditions in the later studies.

*Trabajo de grado.

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

RESUMEN.

Titulo : Evaluación técnica y económica de pérdidas de almendra en las columnas de separación neumática del proceso de palmistería en las plantas extractoras de aceite de palma africana de la zona central.*

Autor : Adan Yovani León Bermúdez.**

Palabras claves : Almendra, pérdidas, columnas neumáticas, Plantas extractoras, Aceite de Palma.

El interés de este proyecto, permite ofrecer una evaluación técnica y una operación eficiente de los equipos involucrados para la recuperación de almendra, en las columnas de separación neumática para el mejoramiento del proceso de palmistería en el sector de la industria de la palma de aceite.

El Centro de Investigación de Palma de Aceite, CENIPALMA, planteó la investigación y diagnóstico tecnológico del proceso de recuperación de almendra, en seis plantas extractoras de la zona central del país. En este trabajo se propuso mejorar las falencias de las columnas de separación, fibra – nuez, siendo éste el punto de mayor pérdidas en el proceso.

Gracias a los correctivos establecidos en el sistema de prensado y del buen manejo de las velocidades de separación en el cuerpo de las columnas, se estableció que estas variables son de gran importancia para el control de pérdidas de almendra en el proceso de palmistería.

Además se incluyen los métodos para evaluar algunas propiedades físicas de la nuez y las velocidades de separación para fibra y nuez, en función de la humedad; estas propiedades sirven de parámetro para evaluar el diseño de algunos equipos como el tambor pulidor, tambor clasificador y estado operacional de los rompedores de nuez en los estudios posteriores.

*Trabajo de grado.

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

CONTENIDO.

Pág.

INTRODUCCIÓN.

1 CONCEPTOS TEÓRICOS.	1
1.1 ASPECTOS BOTÁNICOS DE LA PALMA AFRICANA.	1
1.1.1 Clasificación de la palma de aceite.	1
1.1.2 Variedad de la palma de aceite.	1
1.1.3 Ecología del cultivo.	3
1.2 SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE ACEITE DE PALMA UTILIZADO EN LAS PLANTAS EXTRACTORAS.	3
1.2.1 Esterilización.	6
1.2.1.1 Proceso de esterilización.	8
1.2.1.2 Ciclo de esterilización.	8
1.2.2 Desfrutación.	10
1.2.3 Digestión.	10
1.2.4 Prensado.	11
1.2.5 Clarificación.	12
1.2.6 Sedimentación.	14
1.2.7 Almacenamiento y despachos.	15
1.3 EL PALMISTE O ALMENDRA DE PALMA AFRICANA.	15
1.3.1 Antecedentes.	15
1.3.2 Proceso de recuperación de almendra.	16
1.4 PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DEL ACEITE DE PALMISTE.	19
1.4.1 Características del aceite de palmiste.	22
1.4.2 Torta de palmiste.	23
2 CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL PROCESO DE PALMISTERIA.	24
2.1 Evaluación del proceso de recuperación de almendra.	24
2.1.1 Prensado.	24
2.1.2 Procesos de extracción de almendra.	25
2.1.3 Tipo de fruto procesado.	27
2.1.4 Columna de separación neumática.	39
2.2 Control y operación de la columna.	30
2.3 Principios básicos del sistema de transporte neumático en las columnas de separación.	32

2.4 EXTRACCIÓN DE ALMENDRA.	38
2.5 ESTADO ECONOMICO DE LA ALMENDRA DE PALMA AFRICANA.	40
2.5.1 Oferta y competencia.	43
2.5.2 Evolución del precio real del aceite de palma crudo y palmiste en Colombia.	44
2.5.3 Oferta y consumo mundial de aceite de palmiste.	45
3 DESARROLLO METODOLOGICO DE CAMPO.	47
3.1 OPERACIONES DE PENSADO	47
3.1.1 Presión hidráulica de los conos.	48
3.2 OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA COLUMNA DE DESFIBRADO.	50
3.2.1 Determinación de las pérdidas de almendra en fibra.	51
3.3 BALANCE DE PERDIDAS.	52
3.4 PROPIEDADES FÍSICAS.	53
3.4.1 Propiedades físicas de fibra y nuez.	54
3.4.1.1 Tamaño y forma de nuez.	54
3.4.1.2 Densidad Aparente.	55
3.4.1.3 Densidad Real.	55
3.4.1.4 Factor de Porosidad.	56
3.4.2 Determinación de la velocidad de separación.	56
4 RESULTADOS Y ANÁLISIS.	58
4.1 PENSADO.	58
4.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA COLUMNA DE DESFIBRADO.	60
4.3 BALANCE DE PERDIDAS.	69
4.3.1 Pérdidas en el proceso de recuperación de almendra.	69
4.4 PROPIEDADES FÍSICAS.	75
4.4.1 Tamaño y forma.	75
4.4.2 Densidad Aparente.	77
4.4.3 Densidad Real.	78
4.4.4 Porosidad.	78
4.5 Determinación de la velocidad de separación.	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	
BIBLIOGRAFÍA.	
ANEXOS.	

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Tipo de prensa .	25
Tabla 2. Plantas con Proceso de recuperación de almendra por vía seca.	26
Tabla 3. Plantas con Palmistería por sistema combinado.	27
Tabla 4. Distribución del tamaño de nueces.	28
Tabla 5. Velocidades de arrastre de los componentes de prensas.	29
Tabla 6. Área sembrada de palma de aceite por zonas (En hectáreas).	41
Tabla 7. Producción de la agroindustria de la palma de aceite (En toneladas).	42
Tabla 8. Industrias procesadoras de almendra en Colombia.	43
Tabla 9. Oferta y consumo mundial de aceite de palmiste (En miles de toneladas).	46
Tabla 10. Condición de operación de las prensas de cada planta.	58
Tabla 11. Promedio de Ruptura de nuez en prensas vs. pérdida de aceite.	59
Tabla 12. Comportamiento de las columnas de desfibrado en pérdidas de almendra para la planta de beneficio A.	61
Tabla 13. Comportamiento de la columna de desfibrado en pérdidas de almendra para la planta de beneficio B.	62
Tabla 14. Comportamiento de las columnas de desfibrado para las plantas de beneficio C Y D.	64

Tabla 15. Comportamiento de la columna de desfibrado para la planta F.	66
Tabla 16. Comportamiento de la columna de desfibrado para la planta E.	66
Tabla 17. Proceso de recuperación de almendra por vía seca.	69
Tabla 18. Proceso de recuperación de almendra por sistema combinado.	71
Tabla 19. Ingresos por reducción de pérdidas de almendra/RFF.	75
Tabla 20. Contenido de humedad, para tres tamaños de nuez.	76
Tabla 21. Tamaño de los tres ejes de la nuez del fruto de la palma de aceite.	76
Tabla 22. Redondez de la nuez del fruto de la palma de aceite para tres tamaños.	77
Tabla 23. Densidad aparente de la nuez del fruto de la palma de aceite para tres contenidos de humedad.	77
Tabla 24. Densidad real de la nuez del fruto de la palma de aceite para tres contenidos de humedad.	78
Tabla 25. Porosidad de la nuez del fruto de la palma de aceite.	78
Tabla 26. Resultados de practica de fluidización para tres lechos de nuez diferentes.	80
Tabla 27. Velocidad mínima de fluidización, teórica y experimental para tres tamaños de nuez en función de la humedad.	83
Tabla 28. Valores promedio de velocidad terminal para los tamaños de nuez con sus tres contenidos de humedad.	84
Tabla 29. % Humedad para fibra de fruto de palma africana.	85
Tabla 30. variación de la caída de presión para fibra de fruto de palma para tres humedades.	85

LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de palma.	5
Figura 2. Diagrama del Proceso general de recuperación de almendra.	16
Figura 3. Diagrama del Proceso de Palmistería por Vía Seca.	26
Figura 4. Diagrama del Proceso de Palmistería con Sistema Combinado.	27
Figura 5. Distribución del área sembrada de palma de aceite por zonas' 2003.	41
Figura 6. Evolución del precio real del aceite de palma crudo y palmiste en Colombia (En miles de pesos por tonelada).	45
Figura 7. % Pérdidas de almendra en fibras vs. posiciones , para tres prensas en las columnas 1 y 2 (planta A).	61
Figura 8. Eficiencia promediada de las columnas de desfibrado.	68
Figura 9. Porcentaje de pérdida total de almendra en el sistema de separación por vía seca.	70
Figura 10. Porcentaje de pérdida total de almendra en el sistema de separación combinado.	72
Figura 11. Porcentaje de pérdidas de almendra /RFF en la zona central.	74
Figura 12. %Eficiencia en el proceso de palmistería en cada planta extractora.	74
Figura 13. Sistema de fluidización.	79
Figura 14. Variación de la caída de presión con la velocidad, para lecho de nuez.	81

Figura 15. Velocidad de arrastre para los tres tipos de nuez. **84**

Figura 16. Variación de la caída de presión con la velocidad para lecho de fibra. **86**

LISTA DE ANEXOS.

Anexo A. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PRENSADO PARA CADA PLANTA DE BENEFICIO.

Anexo B. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA COLUMNA DE DESFIBRADO PARA CADA PLANTA DE BENEFICIO.

Anexo C. BALANCE DE PERDIDAS DE ALMENDRA GENERAL EN EL PROCESO DE PALMISTERIA PARA CADA PLANTA DE BENEFICIO.

Anexo D. DIAGRAMA DEL PROCESO DE PALMISTERIA.

Anexo E. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA NUEZ.

INTRODUCCION.

El Centro de investigación en Palma de Aceite “CENIPALMA” como organización generadora de soluciones tecnológicas, estratégicas para la agroindustria de la palma de aceite en Colombia, su liderazgo y enfoque perspectivo, se ha encargado de planificar y ejecutar investigaciones de tipo científico, de acuerdo con las demandas y necesidades de los palmicultores, para que este sector sea sostenible y competitivo a nivel internacional.

De acuerdo con los trabajos de investigación realizados y en particular en el diagnóstico tecnológico en la evaluación de la eficiencia en el proceso de recuperación de almendra, en las plantas extractoras del país, han reportado falencias, principalmente en las columnas de separación de fibra – nuez siendo este el punto en donde ocurre el mayor porcentaje de pérdidas de almendra en el proceso. Por esta razón se evaluaron las composiciones y flujos para cada corriente del proceso en palmistería, en donde se determinaron los balances de masa y las variables con mayor incidencia sobre las pérdidas de almendra.

Como primera medida se realizó una inducción en el proceso de extracción de almendra, con el fin de establecer una metodología de investigación apropiada para cada una de las seis plantas visitadas en la zona central del país, entre la región del Sur del Cesar y Norte de Santander, encontrándose resultados regulares en porcentajes de recuperación de almendra, este problema marcó el interés de la evaluación tecnológica para calibrar estos equipos (columnas de separación por transporte neumático).

El propósito de este proyecto tiene como base estudiar y diagnosticar las condiciones de operación de las columnas de separación fibra – nuez, por transporte neumático, su comportamiento frente a la variación de las condiciones de prensado, capacidad fruto procesado y de la relación flujo aire – torta, este último relacionado con la velocidad lineal de separación; una vez evaluadas estos criterios, se puede observar sus efectos sobre la eficiencia final de recuperación de almendra en este proceso de palmistería.

Además se plantea un estudio adicional, en la medición de algunas propiedades físicas y mecánicas (para tres tamaños genéricos de nuez) entre estas tenemos tamaños equivalentes promedios, densidad real y aparente, porosidad y su rango en la velocidad de arrastre respectiva al variar el grado de humedad tanto en fibra como nuez, esta última propiedad fue realizada con el prototipo diseñado, para evaluar velocidades de separación de sólidos por transporte neumático.

La reducción de pérdidas de almendra ha generado nuevas perspectivas económicas en el mercado nacional e internacional, el cual han motivado a las plantas extractoras, el interés por mejorar la eficiencia en el recuperado de almendra, en donde su demanda es bastante atractiva para la extracción de aceite y torta de palmiste, como en la generación de nuevos productos en la industria oleoquímica.

1. CONCEPTOS TEÓRICOS.

1.1 ASPECTOS BOTÁNICOS DE LA PALMA AFRICANA.^{1,2,3.}

1.1.1 Clasificación de la palma de aceite. La palma de aceite es una planta monocotiledónea que se incluye dentro del orden de los Palmales, familia palmaceae y género *Elaeis*.

Elaeis guineensis Jacquin. Nombre de la palma Africana o Palma de Aceite, viene de la palabra griega *Elacion* que significa aceite y *guineensis*, nombre científico (botánico) utilizado para nombrar la especie particular de Palma originaria del golfo de Guinea; Jacquin fue el investigador que, por primera vez, describió la palma y le atribuyó su origen a la costa de Guinea.

Existen especies del género *Elaeis* que tiene importancia económica:

- *Elaeis guineensis* Jacquin. Cultivo difundido a todas las áreas palmeras del mundo.
- *Elaeis oleífera* Bailey. También llamada Palma Nolí o Americana, se encuentra en los países tropicales de América del Sur y Central, ha sido descrita en Brasil, Colombia, Venezuela, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Guayana Francesa y en Surinam.

1.1.2 Variedad de la palma de aceite. Muchos investigadores han tratado de distinguir las variedades de la Palma Africana de Aceite; en la mayoría estos resultados no han sido satisfactorios puesto que en estado silvestre cada palma es un híbrido con relación a algunos de sus caracteres. Las múltiples formas que se han producido gracias al cruzamiento de las palmas,

han dado origen a numerosos ensayos de clasificación de las diferentes variedades de la palma.

La clasificación se basa en la forma, el color, composición del fruto y en la forma de sus hojas. De esta forma, existen dos grupos importantes de variedades:

➤ **Grosor del endocarpio o cuesco de los frutos.**

- *Macrocaria*: produce frutos con un cuesco de más de 6mm de espesor y carece de importancia.
- *Dura*: con un cuesco de más de 2mm de espesor, con fibras dispersas en su fruto.
- *Ténera*: con un cuesco menor de 2mm y con un anillo de fibra a su alrededor. Se origina a partir del cruce de Dura con Píscifera.
- *Píscifera*: sin cuesco.

➤ **Pigmentación del fruto**

- *Nigrescens*: fruto de color negro que en el tiempo de maduración se forma de color rojo claro indicando la presencia de Antocianina.
- *Virescens*: antes de la maduración los frutos son de color verde y durante esta se tornan anaranjado-rojizo claro.

Además cada fruto tiene una sola semilla - almendra o palmiste- protegida por un endocarpio leñoso o cuesco, a su vez rodeada por un mesocarpio carnoso o pulpa. Este fruto provee dos tipos de aceite: el que se sustrae de la pulpa, el aceite de palma y el que se obtiene de la almendra, al aceite de palmiste.

Su tallo tiene forma de cono invertido, en su estado silvestre puede alcanzar alturas de más de treinta metros. En las palmas jóvenes y adultas

permanece revestido por las bases pecrolares, lo cual le da apariencia áspera. En cambio las palmas viejas tienen el tallo liso y segmentado por las cicatrices que dejan las hojas al marchitarse y caer.

1.1.3 Ecología del cultivo. La Palma de Aceite es una planta perenne tropical; existe entre los 20° de latitud Norte hasta los 20° de latitud sur. La palma necesita:

- Dos mil milímetros(2000 mm) de lluvias distribuidas de manera uniforme durante el año, es decir, sin estaciones secas muy notables, con suelos aptos para obtener un buen rendimiento.
- Una temperatura máxima media entre 29-33°C; y mínima entre 22-24°C.
- La luz solar influye, por lo menos cinco horas diarias en todos los meses del año, en la fotosíntesis, en la maduración del fruto y en el porcentaje de pulpa.

1.2 SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE ACEITE DE PALMA UTILIZADO EN LAS PLANTAS EXTRACTORAS. ^{3-6.}

La localización de la planta extractora de aceite o “fábrica” es de primordial importancia ya que puede afectar tanto la inversión de capital como los costos de operación y mantenimiento, además del diseño y capacidad de la planta de beneficio.

La tendencia actual en los países donde las vías públicas permiten un transporte rápido y barato, es la de construir una fábrica central que pueda atender a varias plantaciones, para reducir tanto los costos fijos como el

costo de la inversión por hectárea y por tonelada de producto procesado; de otra parte, se aumenta la eficiencia del procesamiento.

Como en la práctica es muy difícil encontrar un ejemplo que cumpla con los requisitos expuestos anteriormente, cada proyecto se debe estudiar individualmente para llegar a una solución económica.

Antes de pasar al procesamiento, es indispensable conocer que básicamente la cantidad y calidad del producto esta determinada en primer lugar en el campo y no en la fábrica. Además las pérdidas más grandes tanto en calidad como en cantidad tienen sus orígenes en el campo, por lo cual es necesario primero aclarar brevemente ciertos aspectos de la cosecha y transporte de racimos. En la fábrica se debe hacer todo lo posible para reducir al mínimo las pérdidas y/o deterioración del producto. Teniendo presente los puntos anteriores, se reconoce la importancia de: a) el control de la cosecha, b) el estado de madurez, c) el lapso entre cosecha y esterilización, d) el grado del daño del fruto y racimos durante la cosecha tanto en su transporte desde el campo hasta la fábrica y en su manejo antes de la esterilización. La planta tradicional incluye los siguientes procesos en la extracción de aceite (figura 1):

- a) Esterilización
- b) Desfrutación.
- c) Digestión
- d) Prensado
- e) Clarificación del aceite
- f) Sedimentación.
- g) Almacenamiento y despachos.
- h) Procesamiento de las nueces para la extracción de las almendras (Palmistería).

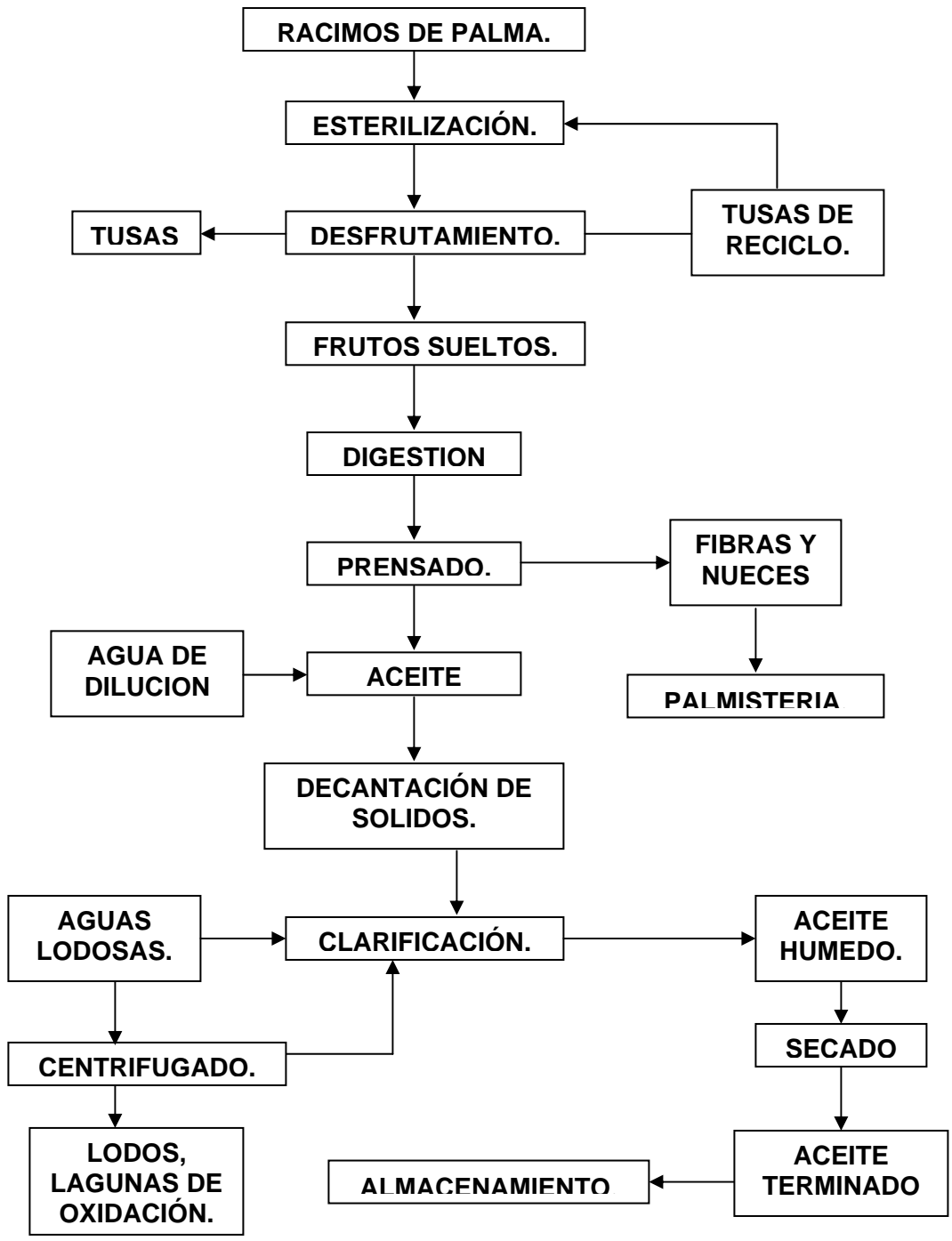


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de palma.

1.2.1 Esterilización. La esterilización es la primera etapa del proceso de extracción del aceite de palma, se efectúa en un cilindro horizontal a presión. El tamaño de este equipo está determinado por la capacidad de la fábrica, y normalmente debe tener del 25-50% más que la capacidad de la(s) prensa(s).

Los objetivos de la esterilización son múltiples, entre los cuales tenemos:

- **Inactivar las enzimas que causan el desdoblamiento del aceite y en consecuencia el incremento del porcentaje de ácidos grasos libres.**

Destruir las enzimas lipolíticas responsables de la separación del aceite en ácidos grasos y glicerol, para lo cual no se necesita más que una temperatura por encima de 55 – 60 °C grados centígrados. Esto sugeriría que el tratamiento de los racimos para “esterilizarlos” podría efectuarse mediante el uso de agua caliente simplemente, pero la necesidad de mayores temperaturas para cumplir con los demás objetivos de esta etapa, hacen que se requiera el empleo de vapor saturado.

- **Acelerar el proceso de ablandamiento de la unión de los frutos con su soporte natural (tusa o raquis)**

En la esterilización el fruto es preparado para la etapa de desfrutación, mediante la simulación y aceleración del proceso natural de desprendimiento de los frutos cuando llegan a su estado óptimo de madurez. Para conseguirlo el fruto es sometido al contacto con vapor directo. La alta temperatura y un prolongado tiempo de esterilización permiten acumular mayor cantidad de calor en el agua presente en los tejidos de contacto entre el fruto y el soporte, logrando su evaporación instantánea en el momento de la expansión o descarga de vapor del esterilizador, finalmente el elemento de unión se debilita.

- **Disminuir la resistencia de los tejidos de la pulpa para lograr el fácil rompimiento de las celdas de aceite durante los procesos de digestión y prensado.**

Por medio de la esterilización se logra ablandar la pulpa de los frutos para facilitar más tarde su digestión y liberar más cantidad de aceite.

- **Deshidratar parcialmente las almendras contenida en la nuez, para facilitar su recuperación posterior.**

Con la esterilización se busca un desecamiento de la almendra y en efecto una contracción de la misma, logrando la separación de la cáscara que la envuelve y la trituración de las nueces. El proceso involucra la evaporación de la humedad del interior de la almendra por difusión y secado.

- **Coagular las proteínas e hidrolizar la materia mucilaginosa, que posteriormente actúa como emulsificante.**

Coagular las proteínas para evitar la formación de complejos coloidales, los cuales funcionan como sustancias emulsificantes, que previenen la buena separación del aceite en la clarificación; una temperatura mínima de 100°C es necesaria para producir la coagulación de las proteínas. Esta acción es irreversible.

- **Hidrólisis y descomposición del material mucilaginoso(gomas)**

Se ha encontrado que el fruto de palma, especialmente el fruto verde contiene una gran cantidad de almidones y carbohidratos hidrosolubles que pueden formar soluciones coloidales en el aceite crudo, dificultando el proceso de clarificación. Con temperaturas superiores a 120°C se logra la hidrólisis de estas materias coloidales, descompuestas o coaguladas.

1.2.1.1 Proceso de esterilización. El proceso de esterilización se lleva a cabo generalmente, sometiendo los racimos de fruto fresco de palma a la acción del vapor saturado en recipientes cilíndricos denominados esterilizadores o autoclaves y los más usados son los horizontales de una o dos puertas., en donde los factores principales son el tiempo de cocción y las presiones, dependiendo del tamaño de los racimos y del grado de madurez en que se encuentren.

El mayor consumo de vapor se presenta en la esterilización y se encuentra entre el 40-50% del consumo total; por ello, en instalaciones donde se cuenta con varios esterilizadores se debe coordinar muy bien su operación para evitar caídas fuertes de presión en las calderas y desmejoramiento en la calidad del vapor suministrado que afectarían el proceso.

1.2.1.2 Ciclo de esterilización. Al inicio del proceso, el esterilizador y la masa de frutos contenida en su interior trabajan como un condensador, lo cual demanda un consumo elevado de vapor. El gradiente de temperatura es bastante alto: $T = 90^{\circ}\text{C}$.

Se considera que el consumo pico corresponde al 40% del consumo promedio total, en el 25% del tiempo de inyección y cuando el esterilizador y el fruto se han calentado la demanda de vapor disminuye radicalmente al disminuir el área de transferencia. Esta segunda parte corresponde al 50% del tiempo de inyección.

Durante el tiempo a presión constante, el consumo baja aún más y solo se requiere para la reposición del calor perdido hacia el exterior por convección y radiación. Para este período la demanda es del 5% del consumo promedio total en el 25% del tiempo de inyección de vapor.

El ciclo de esterilización comprende los siguiente pasos:

- a) **Desaereación:** consiste en inyectar vapor lentamente con el fin de empujar el aire hacia atrás y descargarlo. Esta operación es importante por que en el esterilizador tiene una atmósfera absoluta de aire y cuando se introduce vapor a 3 atm absolutas, la presión por dentro del esterilizador será de 3atm absolutas compuestas de acuerdo con la ley de Dalton (de presiones parciales) en 1atm absoluta de aire y 2 atm absolutas de vapor. El vapor tiene una temperatura de 119.6 °C a 2 atm absolutas, que no es adecuada para el proceso, mientras que a 3 atm absolutas el vapor tiene una temperatura de 132.9°C.

Teniendo en cuenta que el exceso de temperatura decolora las almendras, una presión de 2.5-3 atm es la más conveniente.

- b) **Ascenso y expansión en un primer y segundo pico:** se realizan con el objeto de expulsar al aire residual que haya podido quedar en el esterilizador. No es recomendable disminuir la presión hasta cero, sino hasta 5 PSI durante estas expansiones, ya que podría ingresar nuevamente aire al equipo.

Es necesario desalojar permanentemente los condensadores para obtener un rendimiento máximo del vapor y evitar que entren en equilibrio vapor y condensado, disminuyendo la cesión de calor al fruto.

- c) **Sostenimiento:** en este paso es donde realmente se alcanzan los objetivos de la esterilización. La presión y el tiempo utilizados en el sostenimiento dependen del grado de madurez de los frutos.
- d) **Expansión final y operaciones de descargue y cargue del esterilizador:** desde el punto de vista de la seguridad es importante tener en cuenta que en cada esterilizador debe haber una válvula indicadora del momento de la apertura de la puerta. Mientras haya

descarga de vapor por dicha válvula no debe procederse a abrir la puerta.

1.2.2 Desfrutación. Es un equipo en donde los racimos son sometidos a un proceso de sacudido que tiene como objetivo la separación de los racimos esterilizados en frutos sueltos y raquis vacíos o tusas. Esto se logra mediante un cilindro rotatorio en forma de jaula formado por barrotes separados entre sí a cierto espacio para dejar pasar los frutos desgranados y retener el raquis; unas paletas de arrastre que levantan y dejan caer los racimos de fruto sobre el enrejado cilíndrico procurando la mayor eficiencia en los golpes. Un sinfín de transporte inferior que lleva los frutos desgranados al elevador.

La eficiencia de este equipo desgranador depende del tiempo que permanezca el racimo en el tambor, y el cual es función del ángulo del cilindro con la horizontal y la carga (más carga menos resistencia). También la eficiencia depende de la relación entre el diámetro del racimo, diámetro y revoluciones del tambor.

1.2.3 Digestión. Los digestores comúnmente usados en las plantas de extracción de aceite de palma son recipientes cilíndricos con un eje rotatorio central al cual se encuentran montados algunos pares de brazos agitadores que ocasionan la maceración de los frutos. El tamaño del digestor debe corresponder con la capacidad de la prensa. Los frutos son alimentados por la parte superior y la masa (pulpa + aceite + nueces) sale por debajo mediante una puerta y hasta la prensa. El objeto de este proceso es completar el trabajo (empezado en la esterilización) de romper las células de aceite de la pulpa. El tamaño del digestor debe corresponder con la capacidad de la prensa y su temperatura de trabajo esta comprendida en el rango entre 90-95°C, para reducir considerablemente su viscosidad, por lo

cual se facilitará su extracción por tener mayor circulación a través de los pequeños espacios llamados capilares, dentro de la torta en proceso de prensado.

Un requerimiento básico de una buena digestión es que el equipo debe operar completamente lleno. La altura de la masa de frutos determina la presión ejercida sobre la parte inferior de la misma y , por consiguiente, la fricción ejercida sobre la pulpa para desprenderla de las nueces y romper las celdas que contienen aceite. Igualmente, si dicha altura fuera insuficiente se reduce el tiempo de permanencia de los frutos en el digestor y origina resultados muy pobres en la extracción.

1.2.4 Prensado. Los frutos digeridos son prensados dentro de la canasta por acción de uno o dos tornillos sinfín de paso regresivo, girando paralelamente en sentido contrario que tienen como función destruir las celdas oleaginosas que no se hayan podido romper durante la digestión, por lo que facilitan la liberación de aceite, un equipo de prensado de gran capacidad presenta buenos resultados cuando la torta obtenida en esta etapa tiene una composición de aproximadamente 65% de nueces y 35% de fibras, en cuanto a pérdidas de aceite - del 5-6% cuando se opera correctamente – en torta extraída.

Es una práctica común en la industria del aceite de palma determinar la eficiencia de la etapa de prensado según las pérdidas de aceite en las fibras; sin embargo, se deben tener en cuenta otros aspectos para evaluar esta eficiencia, como el troc (ajuste de los conos), el espesor de la cáscara libre y la cantidad de nueces rotas.

Después de la operación de prensado en donde se busca separar de la masa de frutos digeridos la fracción líquida, compuesta por aceite de pulpa

de palma y además por agua (agente de dilución), y una cierta cantidad de sólidos que quedan en suspensión en la misma, el proceso siguiente está repartido en dos secciones : a) purificación o clarificación del aceite, b) el procesamiento de la torta seca para separar la fibra de las nueces y para recuperar las almendras.

1.2.5 Clarificación. La clarificación es el proceso mediante el cual se separa y purifica el aceite del líquido extraído en las prensas, el cual contiene aceite, agua, lodos livianos (compuestos por pectinas y gomas) y lodos pesados (compuestos por tierra, arena y otras impurezas). Para lograr dicha separación, se aprovecha la característica de inmiscibilidad entre el agua y el aceite.

Para la purificación del aceite bruto se deben tener en cuenta de dos equipos principales como son: el desarenador estático de drenaje donde se decantan y evacúan las impurezas pesadas y así evitar la entrada de arena a los procesos siguientes y el tamiz de crudos, para eliminar la materia celular y las materias extrañas de mayor tamaño por vibración por una malla de 40 Mesh, facilitando la separación de los demás componentes de la mezcla.

La clarificación se divide en dos partes:

- a) Clarificación estática (por decantación): en esta etapa se logra separar el 90% del aceite aproximadamente.

- b) Clarificación dinámica (por centrifugación): en esta etapa se requiere movimiento por fuerza centrífuga para obtener la separación, con una recuperación de alrededor del 10% de aceite.

La temperatura influye inversamente en la viscosidad (grado de fluidez) y solo puede incrementarse hasta 95°C para evitar la ebullición del agua, la

cual ocasiona turbulencia dentro del clarificador, impidiendo la separación. Para obtener una separación estática ideal debe mantenerse una temperatura del medio entre 90-95°C.

La dilución influye inversamente en la viscosidad. Sin embargo, los lodos livianos tienen una densidad similar a la del aceite y por tanto cuando es muy alta estos tienden a subir con el aceite. Para evitar este inconveniente se debe regular la cantidad de agua en la dilución hasta llegar a una determinada concentración de lodos, de modo que no suban con el aceite.

- **Clarificación estática.**

El fundamento de esta operación se debe a la ley de Arquímedes - todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza de empuje hacia arriba que es igual al peso del volumen del fluido desalojado - del cual experimentan las gotas de aceite.

En este equipo ocurre la separación por decantación estática debido a la diferencia de densidad, y con la ayuda de la temperatura, de los componentes principales de la mezcla: aceite y aguas lodosas. El aceite recuperado contiene algo de humedad y lodos livianos, los cuales deben eliminarse para obtener una buena calidad del aceite.

- **Clarificación dinámica: centrífugas.**

Contiene un tamiz de lodos antes de este proceso, que está diseñado para evitar la entrada de pequeños pedazos de cascarilla y / o de fibra que viene en el lodo y perjudiquen el proceso de centrifugado. Trabaja por vibración de la masa de aceite crudo pasando ésta por una malla de 40 mesh. Su alimentación está dada por un tanque de lodos, el cual tiene dos funciones: la primera tiene que ver con la recepción de lodos para su centrifugación y la

segunda es la de aumentar la cabeza de presión positiva para la alimentación a las centrífugas.

En la centrifugación se aprovechan los mismos principios de la clarificación estática, pero la separación ocurre con una velocidad mucho mayor mediante fuerzas centrífugas. El agua y los lodos pesados salen por las boquillas y el aceite y los lodos livianos se concentran en el centro.

Debido a que el eje hueco de la centrífuga gira alrededor del tubo de entrada los lodos tienden a salirse por el espacio que hay entre el eje y el tubo. Para evitar estas pérdidas de lodos se introduce agua caliente que sirve de sello y a su vez el equipo posee empaques para evitar la salida del agua de sello. Las centrífugas no deben trabajar sin líquido porque se destruyen.

Aceite recuperado en centrífugas

Aceite	18%
Lodos ligeros y pesados	30%
Agua	52%

En los procesos de extracción de aceite, se cuenta con una estructura al nivel del piso en forma rectangular a la cual llegan las descargas de todos los drenajes de la planta y sirven para recuperar el aceite que contengan, llamada caja de florentinos y finalmente se cuenta con un sitio donde llegan los lodos que van a ser enviados a las piscinas y en el cual se recupera el aceite que llegue por error.

1.2.6 Sedimentación. El aceite clarificado pasa al tanque sedimentador en donde las partículas pesadas se van decantando por reposo y de allí se bombea el aceite al secador atmosférico, este opera entre 70 y 80 °C, el cual

evapora el agua mediante vacío (el agua se evapora a 55°C en el vacío) con el fin de evitar el contacto del aceite con el aire, el cual favorece la oxidación del aceite, produciendo la rancidez.

1.2.7 Almacenamiento y despachos. Estos tanques tienen como función almacenar el aceite terminado que posteriormente se comercializa y es despachado por medio de carrotanques. El manejo de los productos terminados es muy importante porque un inadecuado almacenamiento puede disminuir la calidad que con esfuerzo se logra durante el proceso.

El aceite a almacenar debe cumplir con los siguientes parámetros de calidad:

ACIDEZ	2.5-3.5%
HUMEDAD	máximo 0.3%
IMPUREZAS	máximo 0.03%

1.3 EL PALMISTE O ALMENDRA DE PALMA AFRICANA. ^{3,4, 5,7.}

1.3.1 Antecedentes. En la industria de palma de aceite siempre ha sido la extracción del aceite el principal objetivo, y por ello los principales cambios en esta agroindustria han sido siempre encausados a obtener una más alta extracción de aceite de su pulpa; sin embargo, estas innovaciones han tenido también un impacto sobre el proceso de extracción de la almendra, es así, que en los equipos de prensado se observó una marcada evolución con los tipos de materiales que eran procesados; en un inicio, cuando las semillas utilizadas tenían una gran cantidad de nuez y un pequeño pericarpio - las Duras macrocarias – y el contenido de aceite era reducido, se utilizaron prensas centrífugas. Estas fueron reemplazadas por prensas, con su digestor, para preparar el fruto para la extracción. Estas nuevas prensas fueron hidráulicas, funcionaron inicialmente con material tipo duro pero a mediados de los sesenta, con la introducción de las palmas con fruto ténera – en las que disminuye el tamaño de la nuez con respecto a la pulpa – comenzaron a

instalarse las prensas de tornillo y a surgir sus diversas modalidades: de tornillo, de doble tornillo de plano horizontal y de doble tornillo de plano vertical. Ya en el proceso de recuperación de la almendra, uno de los cambios más importantes fue la adopción de los quebradores de nuez de tipo tambor (Ripple Mill) utilizados inicialmente para la ruptura de otros tipos de semillas duras. La innovación con estos equipos fue la posibilidad de trabajar con mezclas de varios tipos de nueces sin importar el tamaño ni la procedencia genética de las nueces.

1.3.2 Proceso de recuperación de almendra. La función de este proceso es recuperar la almendra de los frutos de la palma de aceite luego de los procesos de digestión y prensado, en los cuales se extrae el aceite de la pulpa, dejando como residual una torta compuesta por fibra húmeda, nueces enteras y algunas nueces rotas.

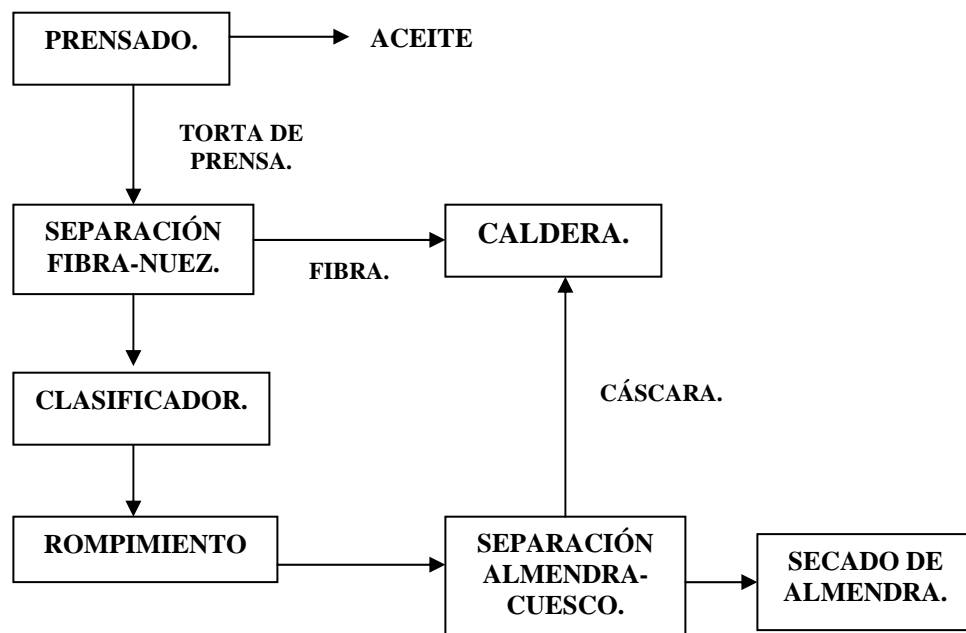


Figura 2. Diagrama del Proceso general de recuperación de almendra.

Una vez realizada la operación de desfibración, la torta descargada por las prensas es transportada y a la vez desmenuzada por un transportador sinfín de tipo paletas el cual se seca la fibra por medio de una chaqueta o camisa de vapor y se rompe la torta para facilitar la separación en la columna de desfibrado. La separación de fibra se lleva a cabo en un sistema neumático de vacío, del que resultan dos corrientes, la primera es conducida a las calderas (figura 2), para ser utilizada como combustible y está compuesta principalmente por fibra, pero alcanza a arrastrar consigo almendra, cuesco y algunas nueces, y una segunda corriente que está compuesta en su gran mayoría por nueces.

El flujo de nuez obtenido en la columna de desfibrado, cae a un tambor pulidor, como su nombre lo indica, permite pulir la nuez separando de ella la fibra adherida con la misma corriente de aire de la columna neumática, por la fricción ejercida entre ellas y con la pared del mismo tambor. Este equipo cuenta con unas paletas que orientan la salida del flujo.

Las nueces separadas y pulidas se llevan a unos silos que cumple con las condiciones de secado, almacenamiento y como dosificador de los demás equipos de proceso. Desde los silos pulmón las nueces se alimentan hacia un tambor clasificador por tamaños provisto de láminas con perforaciones de tamaño adecuado que permite el paso de nueces de hasta de un diámetro determinado. Cada lote de nueces así clasificadas, se rompe o tritura en los molinos llamados "Ripple Mill", ajustando cada molino de acuerdo con el tamaño de nueces procesadas y así romper la totalidad de las nueces sin causar la rotura de las almendras contenidas en ellas.

La mezcla obtenida esta compuesta de almendras, cáscaras y polvo descargada de cada uno de los molinos, el cual es conducido por un transportador sinfín hacia una segunda columna de separación neumática. En esta operación pueden participar una o dos columnas dependiendo de la

capacidad y diseño de la planta de beneficio. En la columna de separación neumática se obtienen tres fases diferentes:

- Almendras con un contenido mínimo de nueces no rotas y que salen por la descarga inferior, en donde se envían directamente a los silos secadores.
- Partículas finas de cáscaras, fibras y algo de almendra como pérdida del proceso en forma de pequeños trozos que salen por la parte superior a través de la descarga del ciclón que a la vez sirve como alimento para las calderas.
- Un tercer lote llamado la interfase, siendo esta una descarga intermedia y que está constituida por almendras pequeñas, nueces pequeñas no rotas y pedazos de cáscaras de mayor tamaño.

Algunas plantas aplican en el proceso hidrociclones que operan con agua para recuperar la almendra contenida en la interfase, el cual aprovecha para la separación el hecho de que las almendras tienen una densidad de alrededor de 1.07 y las cáscaras entre 1.30 y 1.35. El principio consiste en una separación, por centrifugación, El movimiento de impulsión se mantiene mediante bombas centrífugas que se fabrican en materiales muy resistentes a la abrasión. El sistema utiliza dos hidrociclones colocados en serie el uno tras el otro. Puesto que el agua hace un recorrido en circuito cerrado, se carga rápidamente de impurezas y debe en consecuencia, ser renovada permanentemente. Dentro de cada hidrociclón se realiza pues, una centrifugación, de manera que las almendras o fase liviana salen por la parte superior y las cáscaras o fase pesada salen por la parte inferior.

Las almendras húmedas se llevan a un silo de secado que cumple con una función muy importante para en la calidad del producto, por las siguientes razones:

- Las almendras húmedas se vuelven mohosas después de un tiempo relativamente corto.
- Cuando las almendras se almacenan en estado húmedo, la acidez del aceite obtenido de ellas se incrementa con mayor rapidez.
- El proceso de secado debe ser lo suficientemente eficaz para reducir la humedad hasta un 6 - 7%.

La temperatura del secado se debe ajustar para el caso del silo de almendras húmedas (provenientes del sistema de hidrociclones) en alrededor de 70 °C en la parte superior y 50 °C en la parte inferior, mientras que en el caso del silo de almendras semisecas (provenientes de la separación neumática) en alrededor de 60 °C en la parte superior y 50 °C en la parte inferior. Se debe tener cuidado en todo caso que no sea mayor de 70 °C, pues entonces se produce un oscurecimiento del palmiste y una degradación de su calidad.

1.4 PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DEL ACEITE DE PALMISTE.^{1,2,5,7,9}

Antes de la segunda Guerra Mundial, el aceite de palma tenía fines alimenticios y el aceite de palmiste se utilizaba casi exclusivamente para la fabricación de jabones, después de la Guerra entre 1957 y 1959 este llegó a ser usado en un grado mucho mayor en una gran variedad de productos comestibles. Debido al estancamiento de la oferta de sebo bovino y de aceite de coco, actualmente se utilizan la estearina de palma, el aceite de palma y el aceite de palmiste como materias primas opcionales, gracias al aumento estable de la oferta de estos productos y a las similitudes entre la

composición de los aceites de palma y de palmiste y la del sebo bovino y el aceite de coco.

En la actualidad la División de Química y Tecnología se concentra en la investigación encaminada a mejorar la calidad del aceite, el procesamiento y las tecnologías de extracción. También trabaja en el desarrollo de productos comestibles y no comestibles y en las propiedades nutricionales del aceite de palma y palmiste, en donde ha surgido gran interés en el sector de los oleoquímicos.

En forma general la oleína líquida constituye un medio de fritura industrial y un aceite doméstico de cocina muy eficiente en términos de costo, se puede utilizar sola o mezclada con otros aceites vegetales producidos en los países consumidores. La estearina dura y el aceite de palmiste son excelentes componentes para margarinas, mantecas, grasas de panadería y vanaspati. La estearina de palmiste es un excelente sustituto de la manteca de cacao para productos de confitería, como cubiertas de chocolate para helados y caramelos. La oleína de palmiste también se puede procesar para utilizarla en algunos sustitutos de productos lácteos, como blanqueadores de café, leche reconstituida y quesos no lácteos.

Además se ha venido intensificando la investigación sobre las aplicaciones no comestibles del aceite de palma y sus productos, como detergentes biodegradables, cosméticos, lubricantes, pinturas, productos farmacéuticos, agroquímicos, químicos industriales y artículos para procesamiento. Algunos de estos productos, como las velas de mayor duración y que no gotean, la tinta para imprenta, el jabón, los plásticos y los plastificantes, se encuentran en proceso de perfeccionamiento.

Los subproductos como ésteres alquílicos grasos se utilizan como emolientes de productos cosméticos, solventes o portadores en las formulaciones farmacéuticas, como base de lubricantes, grasas, lodos de perforación, aceites para corte y aceites para textiles; Los alcoholes grasos generalmente se procesan en derivados, como los sulfatos de alcohol graso, los sulfatos de éter de alcohol graso y los etoxilatos de alcohol graso. Estos surfactantes se utilizan para el lavado de telas, alfombras y superficies duras y en productos de tocador y cuidado personal, de mejor calidad que aquellos que se obtienen de los petroquímicos, puesto que son más efectivos, más suaves, biodegradables y no son ecotóxicos.

Los derivados del nitrógeno graso tienen aplicaciones especializadas como coadyuvantes en el procesamiento de plásticos, agentes antideslizantes, agentes de flotación e inhibidores de la corrosión. La mayor parte de los compuestos de nitrógeno graso se utilizan para la producción de compuestos ordinarios de amonio y actúan como agentes suavizantes y anti-estática para los suavizantes de telas y acondicionadores para el cabello. Los aceites también epoxidan para producir estabilizadores y plastificantes para plásticos, especialmente el polivinil cloruro, o PVC. Los aceites epóxicos y glicerolos también se emplean en la producción de polioles y más adelante para la fabricación de espumas de poliuretano; Los ácidos grasos se pueden utilizar directamente, sin ninguna modificación química adicional, en la producción de Velas, lápices de colores y cosméticos, y en el procesamiento del caucho, por su bajo grado se puede agregar como coadyuvantes para el procesamiento de lubricantes externos, como agentes dispersantes para el negro de humo y aceleradores de vulcanización en productos de caucho. Los ácidos grasos etoxilados se emplean en sustancias químicas especializadas y son detergentes muy suaves y excelentes emulsificantes para alimentos y cosméticos

1.4.1 Características del aceite de palmiste. En los últimos años el aceite de palmiste es buscado por su propiedad física y química: se funde rápidamente a una temperatura a penas menor que la del cuerpo humano y en estado sólido son duros y frágiles. Aún más son predominantemente aceites de ácidos láuricos.

El aceite de almendra de palma se asemeja al aceite de coco, con el cual es fácilmente intercambiable. Ambos aceites tiene una proporción de ácidos grasos saturados, pero el aceite de almendra tiene una cantidad más baja del ácido de peso molecular bajo – caprílico y cáprico -. Las gamas usuales de los constituyentes de ácidos grasos, en porcentaje son los siguientes:

Ácidos saturados:

Caprílico	(C8)	3 – 4
Cáprico	(C10)	3 – 7
Láurico	(C12)	46 – 52
Mirístico	(C14)	14 – 17
Palmítico	(C16)	6 – 9
Esteárico	(C18)	1 – 2.5

Ácidos no saturados:

Oleico	(C18 :1)	13 – 19
Linoleico	(C18 : 2)	0.5 – 2

También se encuentran vestigios de los ácidos saturados caproico y araquídico, C6 y C20, y de los ácidos no saturados palmitoleico y linolénico, C16 :1 y C18 : 3. con tan alta proporción de ácidos saturados no es sorprendente que los triglicéridos saturados constituyan más del 60% y los triglicéridos disaturados monoleicos más del 25% de los glicéridos totales. El índice de yodo es del alrededor de 17 y el punto de fusión de 25 – 30°C.

1.4.2 Tarta de palmiste. La tarta de almendra de palma tiene el porcentaje proteínico más bajo de las tortas oleaginosas. Presenta una composición de aminoácidos con alto porcentaje de arginina y ácido glutámico. Un análisis promedio de su composición está dado como:

Carbohidratos	48%
Aceite	5%
Proteínas	19%
Fibra	13%
Ceniza	4%
Agua	11%

2. CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL PROCESO DE PALMISTERIA.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el proceso de recuperación de almendra, hay interés en este trabajo en la sincronización de la columna neumática de desfibrado, siendo este el punto de operación con mayores pérdidas presente en la línea de fibra. Antes de centrarnos en este punto de operación, es importante destacar algunas variables como la capacidad y tipo de fruto procesado, condiciones del proceso de prensado y dimensiones en el diseño de los equipos de separación.

2.1 Evaluación del proceso de recuperación de almendra.

Las empresas visitadas en la zona central del país, dentro de la región de San Alberto (Cesar), se ubican Indupalma y Agroince, en la región de Puerto Wilches (Santander), están ubicadas las empresas Palmas Oleaginosas Bucarelia, Oleaginosas Las Brisas, Palmeras de Puerto Wilches y Promociones Agropecuarias Monterrey. Para la realización de este trabajo, las seis plantas estudiadas son nombradas como planta A hasta planta F, en donde tres de ellas (A, B y C) recuperan almendra por el proceso en vía seca y las tres restantes (D, E y F) lo hacen por sistema combinado (vía seca - vía húmeda), por tanto presentan diferencias en sus diseños y condiciones de operación. Estas diferencias permiten estudiar las variables involucradas y su relación con los datos obtenidos.

2.1.1 Prensado. Las prensas utilizadas en el proceso de prensado en las plantas extractoras está comprendido en varias clases.

Cada tipo de prensa (tabla 1), tiene una capacidad de procesamiento en Toneladas de Racimo de fruta Fresca por hora (TRFF/H), siendo esta una variable relacionada directamente con las revoluciones del tornillo y la capacidad pico del proceso.

Tabla 1. Tipo de prensa .

Prensa	Tipo	Capacidad Real (TRFF/H)
P 5	Monotornillo	4.5 - 6
P 7	Doble tornillo	7
P 9	Doble tornillo	9

Fuente : Autor.

Las columnas de desfibrado (proceso neumático) cuentan con una lamina o variador de gran sensibilidad para graduar el área transversal de la columna y en la salida del ciclón, además presenta ventanillas de mediana sensibilidad en el cuerpo de la columna que sirven como variables graduables del flujo de aire en la zona de separación.

Algunas de las plantas de beneficio cuentan con dos líneas de operación en la separación de fibra-nuez debido a su capacidad de trabajo.

2.1.2 Procesos de extracción de almendra. Para todo proceso evaluado (en cada planta), es importante establecer el proceso de operación con respecto al producto de interés, esto permite comparar las diferentes condiciones de trabajo.

- **Proceso de recuperación de almendra por vía seca.**

Como se observa en la figura 3, el proceso por vía seca cuenta con tres quebradores de nuez en paralelo tipo Ripple Mill y dos columnas neumáticas, para la separación de fibra – nuez y para la separación de cuesco – almendra respectivamente.

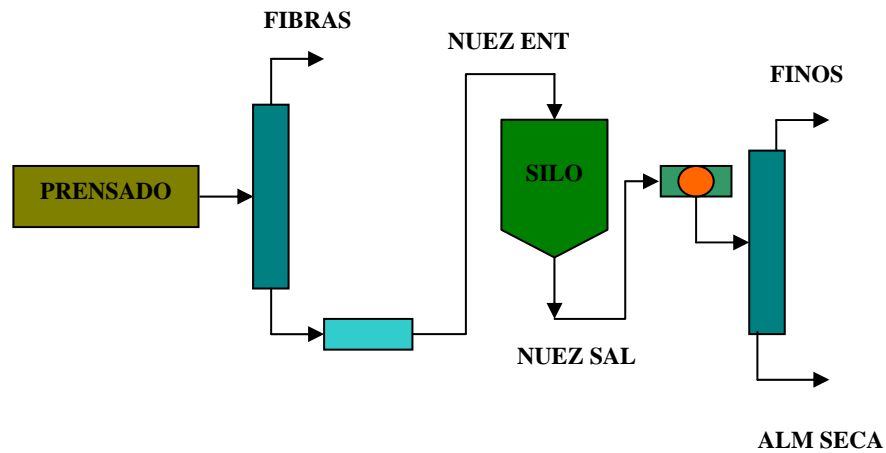


Figura 3. Diagrama del Proceso de Palmistería por Vía Seca.

A continuación en la tabla 2, se presentan los tipos de prensas aplicados en el sistema de prensado y su capacidad de fruto de proceso para estas tres plantas.

Tabla 2. Plantas con Proceso de recuperación de almendra por vía seca.

Variable		Planta de beneficio			
		A		C	
		Línea 1	Línea 1	Línea 1	Línea 2
Prensas	P 5	---	1	---	---
	P 9	3	1	3	3
Capacidad TRFF/H		27	14	27	27

Fuente: Diseño de plantas.

- **Proceso de recuperación de almendra con sistema combinado.**

A diferencia del proceso de recuperación por vía seca, este proceso tiene un par de hidrociclones conectados en serie para recuperar la almendra descargada en la interfase de la doble columna neumática (Figura 4).

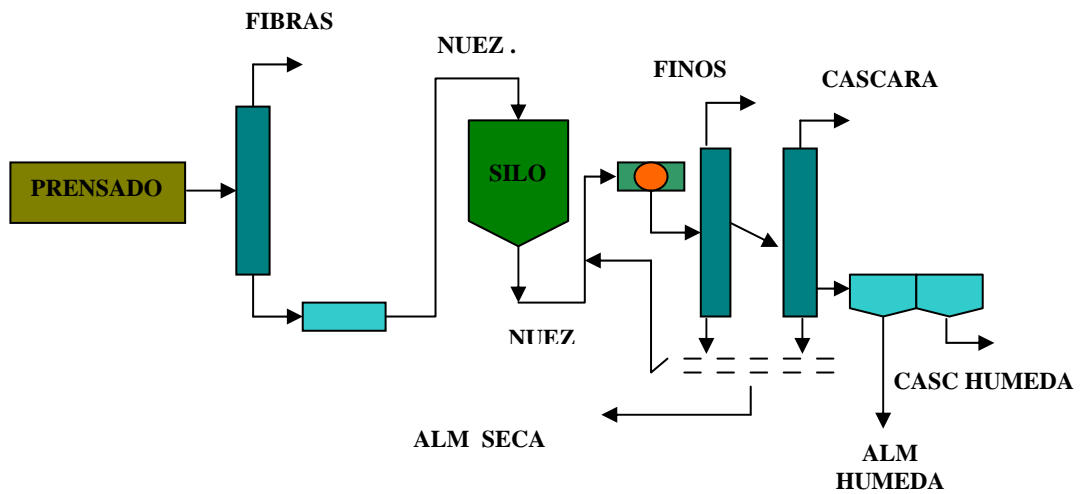


Figura 4. Diagrama del Proceso de Palmistería con Sistema Combinado.

Tabla 3. Plantas con Palmistería por sistema combinado.

Variable		Planta de beneficio				
		D		E		F
		Línea 1	Línea 2	Línea 1	Línea 2	Línea 1
Prensas	P 4.5	---	---	1	1	---
	P 5	1	1	---	---	---
	P 6	---	---	1	1	---
	P 7	---	---	---	---	2
	P 9	1	1	---	---	---
Capacidad TRFF/H.		14	14	10.5	10.5	14

Fuente: Diseño de plantas.

Las plantas extractoras de aceite C, D y E cuentan con dos líneas de trabajo desde la línea de prensado hasta sus respectivas columnas de desfibrado. Como se observa en las tablas 3, cada línea tiene diferencias de equipos en el sistema de prensado de acuerdo con la capacidad de proceso. En la figura 24 del anexo D, se presentan los equipos, con más detalle.

2.1.3 Tipo de fruto procesado^{2,3}. El fruto procesado en las plantas extractoras en Colombia, es el resultado del cruzamiento de varias especies

de palmas que generan una amplia distribución de nueces en su composición y tamaño.

En la tabla 4 se reportan los datos promedios hallados para la distribución en el tamaños de nueces, realizados en la empresa Promociones Agropecuarias Monterrey, en donde el porcentaje en peso de almendra puede variar desde el 25% hasta con un 55% dependiendo del tipo y tamaño

Tabla 4. Distribución del tamaño de nueces.

Diámetro mm.	Cantidad	Gramos.	% Cantidad.	% Gramos.
8 <	9	5.08	1.45	0.52
9	41	33.76	6.61	3.48
10	86	84.38	13.87	8.69
11	177	224.7	28.55	23.14
12	121	185.78	19.52	19.13
13	87	167.24	14.03	17.23
14	53	116.83	8.55	12.03
15	23	60.37	3.71	6.22
16	12	45.01	1.94	4.64
17	7	26.29	1.13	2.71
18	1	5.5	0.16	0.57
19	3	15.98	0.48	1.65
19 >			0.00	0.00
Total	620	970.91	100	100

Fuente: Empresa Promociones Agropecuarias Monterrey.

de las nueces; al aumentar el tamaño de estas semillas aumenta de forma proporcional el grosor de su endocarpio y en forma general, el porcentaje de Almendra en nuez será menor.

En esta región de la zona central del país, se procesa varias variedades de fruto y por tanto es difícil establecer su clasificación, pero los datos reportan que la mayor concentración de nuez tiene características de fruto ténera con porcentajes bajos de fruto dura.

2.1.4 Columna de separación neumática. En la tabla 5, se observa la velocidad de separación promedio aproximada, calculada por el Institutut Penyelidikan Minyak⁸, para cada uno de los componentes que operan en el sistema de palmistería y con mayor razón en el sistema de operación de esta columna.

Tabla 5. Velocidades de arrastre de los componentes de prensas.

PARTICULA	VELOCIDAD, m / s.
Fibra fina.	Inferior a 2.
Fibra seca normal.	4.
Fibra húmeda.	6.
Cuesco. Partículas pequeñas.	10.
Cuesco. Partículas medianas.	12 – 14.
Almendra partículas pequeñas.	14.
Nueces pequeñas.	16.
Cuesco. Partículas grandes.	16.
Almendras medianas.	18.
Nueces medianas.	20 – 24.
Almendras grandes.	20.
Nueces grandes.	24 – 28.

Fuente : Institutut Penyelidikan Minyak. Mongana report (translation). Second volume. Malasysia. 1952 – 1955.

Los desfibradores columnas neumáticas de mayor uso consisten básicamente de una columna vertical de sección rectangular, por la cual pasa una corriente de aire con una velocidad lineal entre 8 y 12 m/s. Siempre y cuando la velocidad del aire no sobrepase los límites inferior y

superior de 6 m/s y 16 m/s respectivamente, se tendrá la seguridad de una buena separación de las fibras. La corriente de aire es inducida por medio de un ventilador colocado en succión, inmediatamente después del ciclón. Debido a la centrifugación causada por la fuerza del aire, en dicho ciclón se separan las fibras que caen desde la pared cilíndrica superior hacia la parte inferior del cono y el aire que sale por un tubo superior hacia el ventilador y que a su vez lo expulsa a la atmósfera. Las nueces separadas en la columna vertical caen directamente a un transportador de sinfín corto que las conduce hacia un tambor pulidor rotatorio colocado al frente y a la misma altura del mencionado transportador.

Con base en los ensayos realizados por cada una de las plantas de beneficio estudiadas, se ha encontrado que la mayor pérdida de almendra se debe al alto rompimiento de nuez en las prensas, a factores críticos de diseño y finalmente al control de la operación del equipo.

2.2 Control y operación de la columna. El control de la columna de desfibrado, es una operación importante por que es allí donde se encuentran las mayores perdidas, por este motivo se ha tomado nuevamente la iniciativa de mejorar las condiciones de operación que permitan establecer las menores pérdidas posibles en este punto de trabajo; teniendo en cuenta su relación en el sistema operativo de prensado – disminuyendo la ruptura de nuez – y sus dispositivos de control.

El flujo y velocidad lineal del aire en la columna es controlado principalmente por una lámina o damper que permite graduar el área transversal en la zona de separación, siendo éste un punto de trabajo de gran sensibilidad. Por la parte superior o cuerpo de la columna existen una o dos ventanillas laterales que pueden aumentar o disminuir el flujo admitido por la parte inferior de la columna. Generalmente los ventiladores de succión ubicados en la entrada

del ciclón, tienen un damper, que de igual forma controla el caudal de aire necesario en la zona de separación de fibra – nuez.

Es difícil establecer las condiciones equivalentes de operación de estos tres parámetros de control de forma general para todas las plantas estudiadas. Como se mencionó anteriormente, cada una de ellas trabaja con una capacidad de fruto variable, con equipos de prensado y condiciones de operación de diseño diferentes en cada una de sus columnas.

Antes de obtener el mejor punto de graduación es necesario establecer que la cantidad de fibra que llegue al tambor pulidor debe ser mínima, para evitar falencias en los posteriores equipos de transporte, almacenamiento y ruptura de nuez. Las pérdidas de almendra causadas además por la compactación del flujo de torta alimentado en la columna, el control de sus dispositivos y por la ruptura de nuez, se debe a otro factor: la humedad contenida en el flujo de torta, controlada por el transportador de torta. Este equipo debe garantizar una baja casi nula compactación y una muy buena humedad en la salida del mismo, para generar una buena eficiencia en la separación de fibra dentro de la columna.

Se ha observado que el equipo de transporte de torta, presenta irregularidades en el secado, debido a las condiciones de diseño, en donde la disipación de calor solo reduce la humedad aproximadamente desde un 35 al 31%, para la entrada y salida del mismo, otra desventaja en este equipo para el proceso de separación, se debe a la ruptura adicional de nueces enteras y semirrotas, que se produce cuando entran en contacto frente al esfuerzo al que son sometidas en este equipo, dejando finalmente una cantidad mayor de almendra libre en el sistema.

La separación de la fibra adherida en la nuez – como grandes aglomeraciones de fibra -, la clasificación entre nuez y de materiales pesados y extraños se puede controlar en el tambor pulidor o rotatorio. Este equipo

es de gran importancia para el mejoramiento y estado mecánico de las rompedoras de nuez. Se ofrece una baja eficiencia en la ruptura de nuez al operar con cantidades moderadas de fibra, los datos reportados por Hamblin²⁰ (1991), indican que la baja sensibilidad de ruptura por impacto se debe a las pequeñas aglomeraciones instantáneas de fibras, capaces de resistir el impacto por amortiguamiento, produciendo finalmente pérdidas de almendra en nueces enteras y semirrotas en la columna de separación de almendra y cuesco, con una mayor cantidad de impurezas en el producto debido a la cantidad de cuesco adherido como nuez entera y semirrota.

Para mantener el tambor pulidor en operación eficiente, es necesario prestarle un mantenimiento de limpieza apropiado para evitar la acumulación de fibra excesiva en los silos de almacenamiento; el efecto es notado en el taponamiento y acanalamiento del flujo de nueces en la salida, dada además como consecuencia de la gravedad para evacuar el flujo constantemente.

2.3 Principios básicos del sistema de transporte neumático en las columnas de separación. ^{9-13.}

En esta sección trataremos los principios básicos de transporte neumático aplicados en la columna de separación del proceso de palmistería. Esta técnica es importante para el desplazamiento de materiales particulados, los cuales viajan suspendidos en una corriente de aire a través de líneas de tuberías horizontales, inclinadas y verticales, sobre distancias moderadas. Estos materiales transportados varían mucho en sus propiedades requiriendo a menudo consideraciones especiales e incluso técnicas; Luego, los sistemas de transporte neumático, permiten transportar grandes cantidades de sólidos a granel a bajos costos unitarios y escasas pérdidas de material; su facilidad de transporte aumenta cuanto menores sean sus tamaños y densidades.

Esta técnica es aplicada en la separación de nuez y fibra, estas partículas están influenciadas por el factor de separación dado por las diferencias en las velocidades de sustentación y arrastre en particular. La clasificación de los transportadores neumáticos se realiza de acuerdo con diversos criterios :

A. Por caída de presión.

A continuación se presentan tres casos dependiendo de la diferencia de presiones, entre la entrada y salida del material en el ducto separador o conductor.

-Sistemas de presión positiva: Los STN a presión son adecuados para transportar desde un punto de captación hasta diversos sitios de descarga. En este caso el soplador se ubica al principio del sistema.

-Sistemas de presión negativa: Un STN de presión negativa o de vacío es especialmente útil cuando se transportan sólidos desde varios puntos hasta un punto de descarga, razón por la cual el soplador trabaja como extractor colocado al final del sistema.

-Sistema combinado a presión y negativo (de empuje y de tracción): Este sistema normalmente se emplea cuando se transporta desde varios puntos de captación hacia varios puntos de descarga.

B. Por diferencia de presión entre los extremos de conducción.

Esta clasificación se debe a la alta diferencia de presión a la que se somete la corriente de aire.

- De alta presión: en estos sistemas la diferencia de presión entre los extremos de conducción supera los 500 cm en la columna de agua.

- **De media presión:** dentro de este rango se ubican equipos con diferencias de presión entre 200 y 500 cm en la columna de agua.

- **De baja presión:** La diferencia de presión en estos sistemas no superan una diferencia de presión por encima de los 200 cm en la columna de agua.

La eficiencia de un sistema de transporte neumático (STN) se debe principalmente al buen acondicionamiento de los equipos tales como sopladores (ventiladores), filtros, ciclones, tuberías, silos de almacenamiento y demás accesorios etc.

Variables globales en un STN.

Las variables se agrupan de acuerdo:

- **Variables de proceso.** Estas variables de proceso son básicamente dos: el flujo del sólido que debe manejar la línea de admisión, Msi Kg/s , en este caso la columna de separación y la relación de masa de sólido-aire,

$$\mu = \left[\frac{Kg / s - solidos}{Kg / s - aire} \right]$$

- **Variables geométricas.** Dichas variables son: el punto de carga, el punto de descarga, la altura y el diámetro de la columna, tuberías y demás accesorios.
- **Propiedades físicas.** Entre otras se cuenta con: la temperatura ambiente, la densidad del sólido, la densidad y viscosidad del aire, el diámetro promedio de partículas, etc.

- **Consideraciones de velocidad:** Para estimar una velocidad de transporte adecuada en donde el aire arrastre suficientemente al sólido, esta debe estar representada por una expresión que dependa de las densidades del sólido y del gas como del tamaño de las partículas. Existe cierta dificultad en estimar mediante formulas teóricas la velocidad adecuada porque dicha velocidad depende también de la concentración de partículas en la corriente.

El transporte neumático se deriva de la operación de fluidización^{14 - 18}, en donde hay que vencer una velocidad terminal en el lecho para dar inicio al arrastre de sólidos en el flujo; principio que será aplicado posteriormente para los componentes de nuez y fibra, utilizando para este fin un prototipo adecuado.

El comportamiento de fluidización está expresado por la ecuación de Ergun, en función de la caída de presión de la siguiente forma:

$$\frac{\Delta P^* g^* \phi^* DP^* \varepsilon^3}{L^* \rho^* V^2 (1 - \varepsilon^3)} = \frac{150^* (1 - \varepsilon)}{\phi^* DP^* V^* \frac{\rho}{\mu}} + 1.75$$

Si la velocidad del fluido se aumenta progresivamente, aumenta la caída de presión y el rozamiento sobre las partículas individuales y eventualmente, las partículas comienzan a moverse y quedan suspendidas en el fluido; lo que equivale a decir que el principio de fluidización puede convertir un lecho de partículas sólidas en una masa suspendida y expandida que posee muchas de las propiedades de un fluido de tal forma que dicha masa tiene un ángulo de reposo igual a cero.

Si las partículas tienen un diámetro considerable, el fluido en su lecho será laminar y la caída de presión será proporcional a la velocidad superficial. A medida que aumenta gradualmente la velocidad, aumenta la caída de presión pero las partículas no se mueven y la altura del lecho permanece invariable, pero a una determinada velocidad la caída de presión a través del lecho equilibra la fuerza de gravedad sobre las partículas, y un posterior aumento de la velocidad provoca el movimiento de las mismas. Una vez que el lecho está fluidizado, la caída de presión permanece constante mientras la altura del lecho continua aumentando, al aumentar el flujo. Finalmente, con una velocidad mayor a la velocidad mínima de fluidización todo el conjunto, lecho y fluido, se comporta como un sistema homogéneo alcanzando la velocidad de arrastre o de transporte para dicho sistema.^{15-18.}

En este proceso se estudian variables como:

- **Tamaño de las partículas.** El tamaño puede ser determinado de diferentes formas, con calibradores o métodos indirectos, así mismo se debe efectuar un estudio a un lote representativo del lecho para encontrar el D_p promedio.
- **Factor de forma.** Para partículas irregulares se implementa un parámetro que nos relaciona el volumen de la partícula con el de una esfera de igual volumen.
- **Porosidad del lecho estático.** Esta variable representa la fracción de vacío que existe en el lecho cuando ninguna partícula de este se mueve al fluir el líquido a través de él. Se determina de la siguiente forma:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_p}$$

donde:

ρ_p = Densidad de la partícula del material del lecho(absoluta).

ρ_b = Densidad del material del lecho apilada o en grupo(aparente).

ε = Factor de porosidad.

- **Altura del lecho en función de la porosidad.** A medida que se aumenta la rata de flujo de aire en la columna, el lecho se va expansionando con lo cual aumenta su porosidad; si mantenemos el área transversal de la torre constante, encontraremos que la porosidad será una función directa de la altura del lecho. Ese comportamiento puede representarse de la siguiente manera:

$$Z_2 = \frac{Z_1 * (1 - \varepsilon_1)}{(1 - \varepsilon_2)}$$

- **Caída de presión.** El comportamiento entre la caída de presión a lo largo de la torre y la velocidad de fluidización nos da una idea clara del proceso que se está llevando a cabo. Para tasas de flujo relativamente bajas en una lecho compacto la caída de presión es proporcional a la velocidad del fluido, alcanzándose una diferencia de presión más alta que la diferencia de presión estática en el lecho.
- **Velocidad mínima de fluidización**^{15,17-19}.

La velocidad de transporte debe superar la velocidad mínima de fluidización, velocidad que puede calcularse por la siguiente expresión:

$$\frac{1.75}{\phi * \varepsilon^3} * \left\| \frac{Dp * Vmf * \rho g}{\mu} \right\|^2 + 150 * \frac{(1 - \varepsilon)}{\phi^2 * \varepsilon^3} * \left[\frac{Dp * Vmf * \rho g}{\mu} \right] = \frac{Dp^3 * \rho g * (\rho_s - \rho_g) * g}{\mu^2}$$

En donde:

Φ = Factor de forma.

D_p , ρ_s = Diámetro y densidad absoluta de la partícula.

ρ_g , μ = Densidad y viscosidad del fluido.

Para partículas pequeñas de peso específico pequeño tenemos:

$$V_{mf} = \frac{(\phi * D_p)^2}{150} * \frac{(\rho_s - \rho_g)}{\mu} * \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)} * g \quad \text{Re} < 20.$$

Siendo Re el número de Reynolds.

Para partículas grandes:

$$V_{mf}^2 = \frac{(\phi * D_p)^2}{1.75} * \frac{(\rho_s - \rho_g)}{\mu} * \frac{\varepsilon^3}{1} * g \quad \text{Re} > 1000.$$

Cuando se desconoce ε y/o Φ del sólido:

$$\frac{1}{\phi * \varepsilon^3} = 14$$

$$\frac{(1 - \varepsilon)}{\phi^2 * \varepsilon^3} = 11.$$

2.4 Extracción de Almendra. ^{3,4,5,7.}

La obtención de la almendra se da en los equipos de ruptura de nuez, generalmente en los rompedores de Ripple Mill, su eficiencia depende de factores como la velocidad del rotor, de la cantidad de fibra adherida, del apropiado acondicionamiento de la humedad y de la homogeneidad en el tamaño y tipo de las nueces alimentadas.

Dependiendo de las condiciones de operación del clasificador de nueces y de acuerdo a la heterogeneidad en el tamaño de las nueces, es posible evaluar el rendimiento de los quebradores; aunque en este estudio no se

realizaron ensayos para variar sus condiciones de operación, los resultados en las diferentes plantas, han encontrado que la eficiencia en ruptura por parte de estos equipos ha llegado cerca del 99 %, mientras que la ruptura de almendra ha alcanzado valores entre el 20 y 45 %, este amplio rango se debe a los factores mencionados.

En este trabajo se ha mencionado la existencia de dos sistemas de separación de almendra en las plantas evaluadas, la separación por vía seca y por vía combinada (vía seca + húmeda). En proceso por vía seca y en la primera fase por vía combinada, su columna de separación almendra – cuesco, cumple con los mismos principios de operación de la columna de desfibrado y su control está relacionado con la manipulación de su pared móvil ubicada en la zona de separación. Con lo anterior es posible variar su área transversal; esta operación puede tener dos columna de separación en serie, la primera diseñada para regular el flujo en tres fases de separación, con un flujo lateral compuesto de un gran porcentaje de almendra, que es separada en su mayor totalidad en la segunda columna.

Los datos obtenidos por el control establecido por las plantas de beneficio en estos equipos, indican que las perdidas de almendra por el flujo de tope (flujo de cáscaras y flujo de finos), es cercano al 0.5 % como porcentaje en peso de flujo / RFF (racimo de fruto fresco o procesado), en gran medida este porcentaje se debe al arrastre de material particulado o pedazos muy pequeños de almendra que por su peso es normal que sean arrastrados por el flujo de aire y que no sea una pérdida representativa para el sistema.

En el proceso de recuperación por vía combinada se adiciona el equipo del hidrociclón para disminuir las perdidas de almendra producidas en el flujo intermedio proveniente de las columnas de separación neumática. Los hidrociclones no cuentan con una información técnica sobre el manejo de la

capacidad real del equipo ni de las condiciones a las cuales debe operar, su control se refiere más al funcionamiento mecánico que al control del proceso; los resultados reportados en su operación, muestran eficiencias en su separación de almendra libre, alrededor del 95 – 99 % con una remoción de cuesco del 94 – 96%.

En la mayoría de los resultados industriales, se han establecido pérdidas cercanas al 0.2 % como porcentaje en peso de flujo / RFF, siendo pérdidas poco significantes y que en últimas sus control se deja en manos del operario. En la sección de balance de pérdidas se justifican estos valores, para el balance de masa en palmistería en un estado inicial y para un estado final, dado por los correctivos correspondientes.

2.5 ESTADO ECONOMICO DE LA ALMENDRA DE PALMA AFRICANA.^{7,19.}

El objeto principal de este capítulo es establecer, la importancia en la tecnificación para la recuperación de almendra y su influencia en la oferta y demanda del aceite y torta de palmiste, como de sus respectivos precios.

Geográficamente el cultivo de la palma africana, se encuentra distribuida a escala nacional, en cuatro grandes zonas; central, Norte, oriental y Occidental. Las plantas evaluadas en este proyecto pertenecen a la zona central en donde el 60% de área bruta en palma de aceite se encuentra en el departamento de Santander, siendo el Municipio de Puerto Wilches, el mayor cultivador, seguido por el municipio de San Alberto Cesar. En la tabla 6 se reportan los datos estadísticos en hectáreas sembradas de palma para cada zona.

Tabla 6. Área sembrada de palma de aceite por zonas (En hectáreas).

AÑO.	AREA, ha.	CENTRAL	NORTE	ORIENTAL	OCCIDENTAL
1998.	Sembrada	35.041	38.616	19.409	51.962
	Producción	27.751	32.349	15.825	47.205
1999.	Sembrada	37.013	39.678	20.971	52.737
	Producción	28.872	34.343	16.31	48.898
2000.	Sembrada	39.126	39.678	21.602	53.783
	Producción	30.498	34.343	18.249	48.898
2001.	Sembrada	44.227	46.923	23.23	55.184
	Producción	32.172	37.117	18.381	50.787
2002.	Sembrada	48.825	54.259	25.056	57.025
	Producción	33.698	38.878	19.253	53.197
2003.	Sembrada	51.7545	57.515	26.56	60.447
	Producción	35.72	41.21	20.408	56.389

Fuente : Anuario estadístico 2002, Fedepalma.

Nota :

Los datos anexados en cada una de las tablas para la información económica, son datos de confiabilidad que se encuentran publicados en el Anuario Estadístico de Fedepalma, que se edita anualmente.

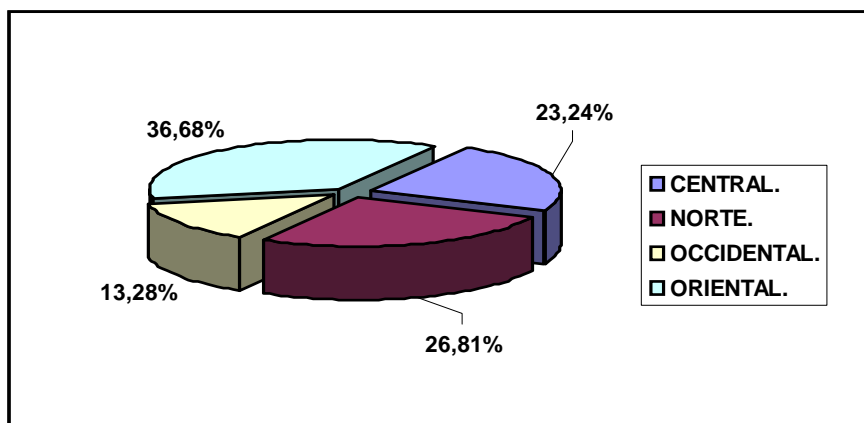


Figura 5. Distribución del área sembrada de palma de aceite por zonas: 2003.

De acuerdo a la proyección anual en toneladas de extracción de aceite de palma y de palmiste, para los años del 2003 al 2005 se perfila una tendencia de incremento anual del 6% en promedio. De acuerdo a esta tendencia, en la

figura 5, se reportan los valores aproximados en la distribución del porcentaje de áreas activas en producción para el 2003 en cada zona.

La almendra o palmiste representa aproximadamente entre el 4.5% y el 5.5% del racimo, por consiguiente constituye un producto importante del proceso de extracción del fruto de palma, que contiene entre el 39% y 42% de aceite, cuyas propiedades y característica difieren considerablemente de las del aceite de palma. Su contenido de torta está entre el 48% al 50% de dicha almendra. En vista a estos parámetros se reporta en la tabla 7, el crecimiento prolongado de fruto procesado en los últimos años y la eficiencia en la extracción de aceite de palma y almendra con sus respectivas extracciones de aceite y torta de palmiste para cada zona.

Tabla 7. Producción de la agroindustria de la palma de aceite (En toneladas).

Productos	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Fruto de palma	2.089.645	2.428.481	2.464.727	2.647.875	2.558.231	2.680.347
Aceite de palma	424.198	500.510	524.001	547.571	528.400	553.623
Almendra de palma.	85.852	100.617	108.949	113.526	115.994	121.531
% Alm/RFF	4.110	4.144	4.420	4.476	4.534	4.751
Aceite de palmiste	34.341	40.247	45.432	49.781	48.718	51.995
Torta de palmiste.	42.926	50.309	56.207	61.159	59.853	61.847

Fuente : Anuario estadístico 2002, Fedepalma.

De acuerdo a las estadísticas de los años 1998 -2002, existe un incremento en la producción de los productos representado cerca de un 5 - 6%. Esto indica que ha venido evolucionando la producción palmiste en la zona. Este volumen de producción de aceites de palma y palmiste ha aumentado gracias al consumo por capita que ofrecen estos como materia prima para la industria de materiales comestibles y no comestibles, tanto en el mercado nacional como lo es en el internacional.

2.5.1 Oferta y competencia.

El 85% de la almendra de palmiste se procesa a nivel nacional en las industrias de aceite y grasas como se muestra en la tabla 8:

Tabla 8. Industrias procesadoras de almendra en Colombia.

Zona	Departamento	Municipio	Nombre de la empresa o razón social
Central	Santander	Bucaramanga	Aceites y Grasa de Santander Ltda. Aceygrades
Norte	Atlántico	Barranquilla	Fagrave S.A Grasas y Aceites vegetales S.A. Gracetales Intergrasas Ltda.
Oriental	Cundinamarca	Santa fe de Bogotá D.C.	Asegrasa S.A Grasco S.A Aceite Ricamesa Ltda. Sigra S.A Agrograsas S.A
	Meta	Villavicencio	Oleaginosas del Ocoa S.A. Proteínas del Oriente S.A Lloreda grasa S.A Aceites de occidente S.A
Occidental	Valle del cauca	Cali, Cerrito y Buga.	Vencer S.A

Fuente : Anuario estadístico 2002, Fedepalma.

Demanda del Aceite de Palmiste. El aceite de palmiste es comprado a nivel nacional, e internacional por las empresas donde existan plantas refinadoras de este producto, a nivel nacional están; Santanereana de Aceites S.A., Lloreda Grasas S.A., Grasas Vegetales S.A., “Gravetal”, Fanagra S.A., Detergentes S.A., Acegrasas, Grasco S.A., Unilever Andina S.A., etc.

Es un producto que se compra en todas las épocas del año, en mayor o menor proporción, por ser de primera necesidad en la canasta familiar. Estas empresas compran de acuerdo a las necesidades de proceso y de almacenamiento, teniendo en cuenta la calidad con la que se adquiera este producto. Además la torta de palmiste es comprada por los ganaderos, industrias dedicadas a la fabricación de alimentos para mulares, aves, peces, cerdos, perros, gatos, etc., como producto concentrado de las mismas. Estos son los ganaderos independientes y asociados, fábricas a nivel nacional como Itacol S.C.A., Purinas Colombianas S.A., Fondo Ganadero de Santander S.A., Incubadora Santander S.A

2.5.2 Evolución del precio real del aceite de palma crudo y palmiste en Colombia.

El aceite de palmiste se cotiza a través del FEP, Fondo de Estabilización de precios, en los mercados de Róterdam, a nivel internacional y nacional. En cuanto al precio de la torta este es valorizado según la empresa que procesa, ya que de acuerdo a los siguientes factores se valora comercialmente.

- Cantidad de aceite en la torta
- Cantidad de fibra en la torta
- Torta de acuerdo al método de extracción
- Contenido de humedad

En la figura 6, no se ha reportado la evolución y tendencia del costo del precio de aceite a nivel nacional en los últimos años desde 1998 hasta finales del 2002, puesto que para el año anterior las estadísticas realizadas por Fedepalma no han sido publicadas.

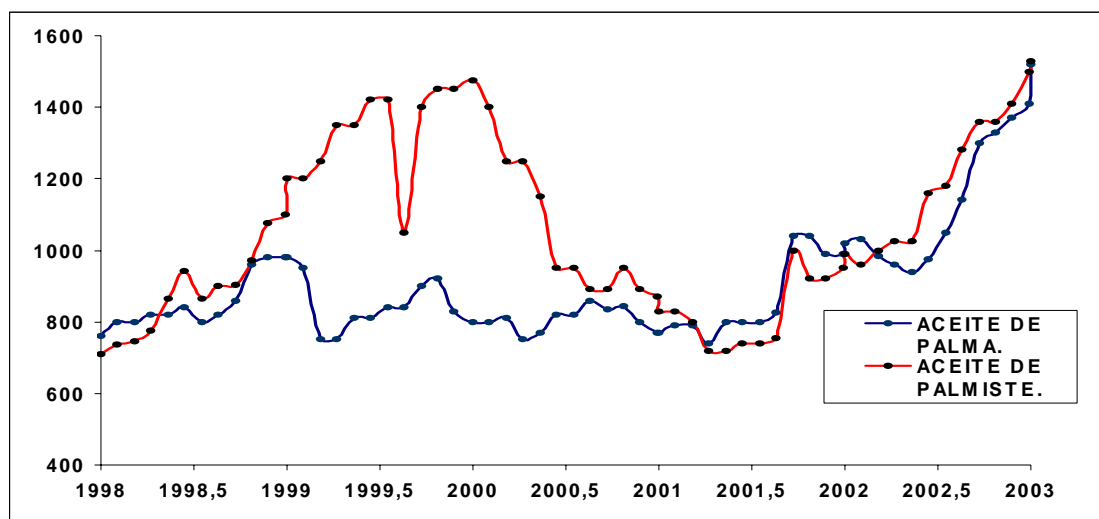


Figura 6. Evolución del precio real del aceite de palma crudo y palmiste en Colombia (En miles de pesos por tonelada).

Según el último informe dado por el fondo de estabilización de precios, los precios promedio de la agroindustria palmera en los meses correspondientes desde enero a abril del 2004:

Aceite de palma crudo.	\$ 1.409.000.00
Almendra de palma o plamista / tonelada.	\$ 466.000.00

En términos generales la cantidad de materia prima evaluada por zona, sus parámetros de calidad y su proyección futura son el resultado del censo realizado para cada año a nivel nacional por la organización de Fedepalma.

2.5.3 Oferta y consumo mundial de aceite de palmiste.

Colombia es el quinto país productor de aceite de palmiste y es el cuarto exportador a nivel mundial (tabla 9), su capacidad de exportación podrá aumentar dado por el crecimiento de hectáreas cultivadas productoras de palma de aceite que se prevén para años futuros, siendo esta una motivación de gran interés por la organización financiera del estado e inversiones particulares, en ofrecer ayuda y respaldo económico a este gremio del sector de la agroindustria.

Tabla 9. Oferta y consumo mundial de aceite de palmiste (En miles de toneladas).

PAIS	1998	1999	2000	2001	2002
PRODUCTOR					
MALASIA	1104	1339	1385	1532	1473
INDONESIA	552	658	735	808	937
NIGERIA	180	190	192	200	201
TAILANDIA	44	53	49	58	55
COLOMBIA	34	40	45	50	49
COSTA DE MARFIL	29	28	28	24	24
PAPUA NUEVA GUINEA	32	29	34	35	35
OTROS.	216	222	223	225	231
EXPORTADOR					
INDONESIA	413	598	579	582	738
MALASIA	502	572	492	616	660
PAPUA NUEVA GUINEA	32	25	29	32	32
COLOMBIA	7	14	20	26	22
COSTA DE MARFIL	18	23	14	8	6
OTROS.	74	63	85	111	121
IMPORTADOR					
ESTADOS UNIDOS	149	208	168	149	173
ALEMANIA	120	209	179	191	277
HOLANDA	135	151	122	78	83
JAPON	52	53	51	50	50
TURQUIA	38	45	51	50	50
REINO UNIDO	45	38	41	46	50
BRASIL	34	19	44	35	38
MEXICO	15	43	40	40	47
ESPAÑA	27	28	33	31	34
SUR AFRICA	29	26	26	31	30
SINGAPUR	10	11	12	35	42
OTROS.	372	394	476	652	678
CONSUMIDOR.					
MALASIA	661	792	815	875	944
NIGERIA	178	187	189	201	201
ESTADOS UNIDOS	149	202	145	135	197
INDONESIA	108	76	158	199	222
JAPON	52	53	51	50	50
TURQUIA	38	45	51	50	50
BRASIL	44	29	57	48	51
SUR AFRICA	29	26	26	31	30
COLOMBIA	26	27	27	26	27
OTROS	886	1053	1030	1162	1295

Fuente : Anuario estadístico 2002, Fedepalma.

3. DESARROLLO METODOLOGICO DE CAMPO.

La evaluación de las pérdidas de Almendra se desarrollo en seis plantas de la zona central, específicamente para los procesos de prensado y desfibrado (columna de separación nuez – fibra). La investigación en cada una de ellas presenta un estudio diferente dado que sus procesos y diseños tecnológicos presentan diferencias. El desarrollo de este trabajo empieza con un balance inicial en perdidas de almendra en el proceso de palmistería, seguidamente se calibro el rompimiento de nuez en las prensas y se ajustaron las condiciones de operación en la columna de desfibrado, finalmente se evaluaron los demás puntos de palmistería, para determinar el balance final de perdidas, para las nuevas condiciones de operación.

Además se midieron algunas propiedades físicas para tres tamaños de nuez, posteriormente se diseñó un prototipo con el cual se determinó la velocidad mínima de fluidización y la velocidad de arrastre para cada tamaño de nuez con tres valores de humedad diferentes, esta fase se aplico de igual forma para un lecho de fibra con tres variaciones de humedad. En forma general el trabajo se realiza de acuerdo a las siguientes fases:

3.1 OPERACIONES DE PRENSADO

Las prensas de tornillo sinfín, de tipo continuo son los equipos más comunes en las plantas extractoras. El tipo de prensa varía de acuerdo con la capacidad de trabajo y del diseño de la planta. En este proceso la principal variable de control es la presión ejercida por los conos hidráulicos, que está relacionada directamente con el tiempo de vida útil de los tornillos, el rompimiento de la nuez y las pérdidas de aceite y de la humedad.

3.1.1 Presión hidráulica de los conos. Se realizaron tres ensayos en la presión hidráulica de los conos en tres plantas: B, D y E, con cuatro repeticiones, con el fin de establecer el punto óptimo entre el porcentaje de rompimiento en nuez y el porcentaje de pérdidas de Aceite en fibra. En las plantas A, C y F no se realizaron variaciones en sus equipos, se evaluó únicamente el punto de control establecido por ellas.

a) Rompimiento de nuez²¹.

Se evaluó la ruptura de nuez en torta residual como porcentaje en peso de la siguiente forma:

1. Para cada ensayo o variación en el prensado hidráulico, se tomaron cuatro (4) muestras aproximadamente de dos (2) kilogramos en cada prensa, dejando un periodo de normalización para cada ensayo de 1_{1/2} a 2 horas aproximadamente.
2. Se pesaron 500 gramos de muestra en un recipiente limpio y seco, separando y pesando detalladamente, cada uno de sus componentes como nueces enteras (NE), nueces rotas (NR), almendras libres (AL), almendras rotas (AR) y cáscaras o cuesco (CU).
3. El porcentaje de rompimiento de nueces en el sistema de prensado se calcula de la siguiente manera:

$$\% RtoNuez = \frac{(NR + AL + AR + CU) * 100}{(NE + NR + AL + AR + CU)}$$

b) Determinación del contenido de aceite en la fibra.

A nivel nacional, las empresas palmeras reportan las pérdidas de aceite en fibras secas o como porcentaje de aceite sobre sólidos secos no aceitosos (% AC/SSNA), parámetro establecido para el control y calidad. Por esta razón es necesario eliminar la cantidad de agua contenida en la fibra de prensas de la siguiente forma:

1. Se peso un recipiente (A, gramos) y se agrego una cantidad de 10 a 15 gramos de fibra (B, gramos). El recipiente y la muestra (C, gramos) se sometieron a la operación de secado en un horno con temperatura de trabajo cercana a los 105 °C por cuatro horas.
2. Después de este periodo el recipiente se retiro y se enfrió en un desecador, pesando y registrando el peso constante (D, gramos). El contenido de humedad se calculo como:

$$\mathbf{H = C - D}$$

y el porcentaje de humedad:

$$\mathbf{\% H = H*100/(B)}$$

Terminado el secado de fibra, se procede a la determinación de la pérdida de aceite, aplicando el método de extracción soxhlet, como se describe a continuación:

1. Se pesa un balón de 250 cm³ para extracción (E, gramos), y el cartucho de extracción con el algodón (F, gramos), la fibra obtenida después del ensayo de humedad, es colocada dentro del cartucho y

cerrada con la lana de algodón, finalmente se vuelve a pesar el conjunto correspondiente (G, gramos).

2. La muestra en el cartucho se sometió al proceso de extracción utilizando el equipo soxhlet, aplicando como solvente n-hexano, esta operación se realizo durante un periodo promedio de 8 horas. El solvente se recupero por el método de destilación simple, luego, el balón es pesado nuevamente para determinar la cantidad (muestra) de aceite contenida en el, después de haberlos colocado en el desecador (M, gramos).
3. El peso de aceite contenido en fibra seca, se calcula:

$$\text{Gr de aceite} = M - E.$$

y porcentaje de aceite / sólido seco no aceitoso (fibra seca) -
% AC / SSNA:

$$\frac{\% AC}{SSNA} = \frac{(M - E) * 100}{(G - F)}$$

El procedimiento para el porcentaje del rompimiento de nuez y el porcentaje de aceite en fibras, son realizados para 4 a 6 repeticiones por cada ensayo, con el fin de obtener un valor promedio y representativo durante el periodo de trabajo.

3.2 OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA COLUMNA DE DESFIBRADO.

En la separación por transporte neumático, el flujo emitido por el ventilador en el ciclón (operación por succión), puede arrastrar con la fibra nueces

enteras o almendras rotas; las primeras son por lo general nueces pequeñas de racimos jóvenes que por su bajo peso fácilmente se dejan transportar.

La relación de sólido – aire se estableció con la manipulación directa del flujo de aire dentro de la columna de separación con el ajuste de los damper o ventanillas de regulación ubicados en el cuerpo de ésta, para las áreas cuyas velocidades proporcionaron los menores valores de pérdidas de almendra en fibra y en algunos casos se regularon los damper ubicados en la salida del ciclón, con el fin de disminuir tanto la velocidad de arrastre como la cantidad excesiva de almendra en este flujo. La manipulación de las posiciones del damper en el cuerpo de la columna se definió de acuerdo con el nivel de eficiencia presentado por cada planta de beneficio. El mecanismo de trabajo en la columna consiste en evaluar las pérdidas de almendra en fibras ciclónicas y el porcentaje de almendra proveniente del flujo de nuez para determinar la eficiencia de la columna de separación.

3.2.1 Determinación de las pérdidas de almendra en fibra.

Para cada posición del damper o ensayo definido se realizaron cuatro repeticiones de muestreo, tomando una muestra de fibra a la salida del ciclón de 2 a 3 kilogramos, por un periodo intermedio entre 1 ½ a 2 horas. Esta muestra es cuarteada cuidadosamente hasta obtener cerca de 300 g; de esta muestra final se separan y se pesan por separado cada uno de sus componentes como nueces enteras (NE), nueces rotas (NR), almendras libres (AL) y almendras rotas (AR) . Seguidamente se procede al rompimiento de las nueces enteras y semirotas (nueces a las cuales les falta menos del 30% del cuesco) y de las nueces rotas (nueces con menos del 70% del cuesco) con el fin de pesar su almendra por separado para reportar el porcentaje real de pérdidas.

Norma: La pérdida total de almendra en fibras debe ser inferior al 2.5 % (BELTRÁN, Carlos).

Nota :

Para el cuarteo de estas muestras, se recomienda tomar una porción del centro y una de cada costado del recipiente, sin perder el material particulado presente en esta muestra. Adicionalmente, se recomienda evitar los golpes en los recipientes que contienen las muestras de fibra, ya que con estos, el material particulado tiende a irse hasta el fondo variando la composición de las muestras cuarteadas y quitándole representatividad al muestreo.

3.3 BALANCE DE PERDIDAS.

En el proceso de recuperación de almendra o palmiste es necesario, efectuar un control estricto sobre las pérdidas que se originan principalmente en dos o tres puntos (de acuerdo con el sistema de recuperación), como son: En fibras a la salida de la columna de desfibrado, en la separación de partículas finas y en las cáscaras separadas por vía seca y por vía húmeda. En los dos últimos puntos se ha establecido que las pérdidas son poco significativas y se aclara en este trabajo que solo hubo intervención en aquellas plantas que necesitaron disminuir sus pérdidas hasta un valor considerable. En este trabajo se evaluaron estos puntos para un estado inicial y un estado final con respecto al balance de pérdidas general en palmistería.

Inicialmente se realizó un balance de pérdidas de almendra completo para cada planta de beneficio, en el que se determinaron los flujos de salida de cada proceso y el estado inicial de trabajo antes de intervenir en su operación. Una vez establecidos los mejores parámetros de control (porcentaje de rompimiento de nuez en prensas y área transversal en cada columna como de los demás puntos del proceso), se realizó un balance de

masa completo con el fin de establecer la reducción total en las pérdidas de almendra en planta y así poder sostener un balance económico final que permita contribuir el interés de este trabajo.

Cada flujo o corriente de salida fue valorado por duplicado tanto en el balance inicial como en el final, por un periodo entre 10 a 15 minutos (tiempo apropiado para obtener datos constantes y representativos) en recipientes tarados (góndolas y sacos), y pesados posteriormente en la balanza o en algún peso de laboratorio de control. Adicionalmente para cada muestreo se tomaron muestras respectivas para el análisis de la composición del flujo. Con los resultados reportados de composición y magnitud se calcularon los balances de masa del proceso ya que son una herramienta complementaria efectiva para el control y vigilancia del proceso por permitir la identificación de los puntos críticos de pérdida y además permiten calcular la eficiencia en el desempeño de los equipos y del proceso en general.

3.4 PROPIEDADES FÍSICAS.^{22-24.}

En esta sección se determinaron las propiedades físicas para la nuez de fruto de aceite africana, entre estas tenemos: tamaño, porosidad, densidad aparente y densidad real, además se determinaron las velocidades terminales para nuez y para fibra, componentes obtenidos en la salida del transportador de torta, después de la extracción de aceite. Estas propiedades se determinaron para tres tamaños de nuez con tres variaciones de humedad.

Nota :

Tanto para la fibra como para los tres tipos de nuez, se manipularon tres valores de humedades diferentes; por encima y por debajo del valor con

que normalmente trabajan en las plantas a la entrada de la columna de separación.

El tamaño se determinó mediante la medición de sus tres dimensiones y la porosidad se calculó en función de la densidad aparente y la densidad absoluta. Las respectivas velocidades de arrastre se determinaron con un prototipo diseñado como se describirá posteriormente.

La determinación de estas propiedades sirve de parámetro para evaluar los equipos de la sección de palmistería, entre ellos la relación de flujo aire – nuez para evaluar el diseño de las respectivas columnas de separación, el diámetro apropiado de las mallas en el tambor pulidor y en el tambor clasificador de nuez y del estado operacional de los rompedores de nuez.

3.4.1 Propiedades físicas de fibra y nuez.

3.4.1.1 Tamaño y forma de nuez.^{25,26.}

- Los tres tamaños de nuez (TIPO I, TIPO II Y TIPO III) más representativos de la zona central, se clasificaron por medio de unos tamices con mallas de 1/2", 3/4" y 3/8" respectivamente, tomando una cantidad aproximada de 35 Kg.

Para cada tipo de nuez se tomó una cantidad representativa de 30 nueces, sus tamaños en función del diámetro equivalente (D_e), se midieron por el método de los tres ejes perpendiculares entre sí, como:

$$D_e = \sqrt[3]{A * B * C}$$

A, B y C son los tres ejes de la nuez perpendiculares entre sí.

La forma se determinó utilizando el criterio de redondez, aplicando la siguiente expresión:

$$R = \frac{A_p}{A_c}$$

Donde:

A_c : El área del círculo más pequeño que circunscribe el eje de mayor longitud en este caso particular el diámetro A.

A_p : Es el área proyectada y que se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$A_p = \frac{\pi * D_e^2}{4}$$

3.4.1.2 Densidad Aparente (ρ_a).

Se pesó inicialmente una probeta de 250 ml, seguidamente se depositan las nueces lentamente, seguidamente se peso el conjunto (probeta + muestra) en la balanza para determinar el peso de las nueces. Finalmente la densidad aparente se obtiene mediante la relación existente entre el peso del grano contenido en la probeta y su volumen de lecho ocupado. Se realizaron diez repeticiones para tres contenidos de humedad en cada tipo de nuez.

3.4.1.3 Densidad Real (ρ_r).

Se tomaron 100 gr. para cada tipo de nuez con sus respectivas humedades seleccionadas de una muestra representativa de 1000 gr. Se calibró una probeta de 250 ml hasta un nivel conocido con agua (sistema A), las nueces se depositaron lentamente dentro de la probeta, determinando así la densidad real con la relación existente entre el volumen de agua que desaloja con respecto a la masa utilizada (Principio de Arquímedes). Se realizan diez repeticiones para cada ensayo.

3.4.1.4 Factor de Porosidad.

Esta propiedad se calculo con los resultados obtenidos de densidad aparente y real, para cada tipo de nuez, mediante la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r} \times 100$$

Siendo:

ρ_a = La densidad aparente en gr/cm^3

ρ_r = La densidad real en gr/cm^3

ε = Porosidad en %

3.4.2 Determinación de la velocidad de separación.

En esta fase se determinó la mínima velocidad de arrastre para nuez y fibra en función de su humedad, teniendo en cuenta sus propiedades físicas.

Para calcular la velocidad respectiva de cada componente, se diseño un prototipo que consta de los siguientes elementos: Ventilador con motor marca SIEMENS de 3600 r.p.m. y de 1.5 HP de potencia, una columna en acrílico transparente de 90 cm de altura, con una lamina movable para modificar el área transversal de trabajo y con perforaciones en cada uno de sus extremos para ajustar el manómetro de tubo vertical, con alcohol cuya densidad es de 0.95 gr/cm^3 . En la parte inferior del tubo acrílico posee una malla en la que se depositan las partículas sólidas. Este dispositivo se complementa con un dispositivo o lamina en la entrada de la succión del soplador con el fin de mantener un rango constante de flujo de aire para cada ensayo. La velocidad de flujo para cada variación se midió con un anemómetro digital, marca OMEGA Engineering.Inc, Modelo HH30A.

Procedimiento.

- Se acondicionó la columna de acrílico con una masa aproximada de nuez, registrando la altura de lecho inicial como Z1, posteriormente, se da paso al fluido (aire), manipulando el damper que sirve como válvula reguladora en la entrada del soplador. El área transversal de la columna se ajustó con un valor de 0.013 m^2 .
- El damper se ajustó lentamente, estableciendo así una velocidad superficial óptima para cada posición de trabajo. Una vez lograda la estabilización del sistema para cada variación de flujo de aire, se reportan los datos de velocidad lo cual nos produjera un determinado comportamiento del lecho. Esta velocidad se midió en la salida de la columna, utilizando un anemómetro, además se midieron y tabularon las caídas de presión registradas por cada manómetro y la altura de lecho con respecto a cada posición.
- Se realizaron cuatro ensayos para cada tamaño de nuez y fibra en función de su humedad, estableciendo así un barrido total de fluidización, partiendo del lecho estático, pasando por la condición mínima de fluidización hasta llegar a la condición final de arrastre.
- Se determinaron las velocidades mínimas de fluidización para cada componente en función de la humedad, aplicando los conceptos y ecuaciones descritas por Ergun y sus resultados matemáticos se compararon con los valores experimentales.

En el análisis de fibra se tomaron 200 gr. de muestra por ensayo, la columna se ajustó para un área transversal de 0.018 m^2 , La muestra de fibra tomada en este trabajo, tendrá un porcentaje de aceite constante de 7.723 % de AC/SSNA.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

4.1 PRENSADO

Las prensas de tornillo sinfín –prensas mono tornillo y prensas de doble tornillo - presentan buenos resultados en cuanto a pérdidas de aceite, cuando la torta obtenida en esta etapa tiene una composición de aproximadamente 65% de nueces y 35% de fibras.

Se observan grandes problemas relativos con las pérdidas de almendra en el proceso, debido al alto porcentaje de rompimiento de nuez en las prensas, producido por el alto amperaje al cual son sometidos los conos hidráulicos en cada una de las prensas. Por esta razón nos centraremos como primera medida en la calibración y estabilidad en la operación del proceso de prensado y así poder encontrar un punto de ajuste entre las pérdidas de aceite en fibras (% AC / SSNA) y pérdidas de almendra en fibras ciclónicas.

Tabla 10. Condiciones de operación de las prensas de cada planta.

PLANTA	TIPO PRENSA	TON/HORA	PRESION		%RTO NUEZ.		% AC/SSNA		
			PROM.	S.D	PROM.	S.D	PROM.	S.D	
A	(3) P-9	27	1300	41	34.24	3.17	5.45	0.618	
B	INICIAL	(1) P-5	5	490	10	31.37	1.291	5.308	0.2046
		(1) P-9	9	798.8	21.65	38.5	0.43	5.33	0.0563
	FINAL	(1) P-5	5	367.5	11.46	26.47	1.353	6.94	0.1125
		(1) P-9	9	530	21.21	27.55	1.448	5.768	0.523
C	(3) P-9	27	733	16.7	35.42	1.137	5.71	0.235	
D	(2) P-5	14	687.5	28.18	37.33	1.013	5.885	0.2725	
E	INICIAL	(2) P-5	12	54.78(amp)	0.657	38.15	3.025	3.503	0.074
		(2) P-5	9	40.65(amp)	0.778	34.98	0.94	5.51	0.124
	FINAL	(2) P-5	12	44.84(amp)	0.45	32.99	1.015	4.837	0.24
		(2) P-5	9	33.56(amp)	0.366	27.71	1.215	6.1455	0.1145
F	(2) P-5	14	42.07(amp)	1.19	26.79	2.745	6.342	0.3245	

Fuente: Autor.

En la tabla 10 se reportan los datos promediados de las pérdidas de aceite relacionadas con el porcentaje de rompimiento de nuez para cada empresa evaluada. En las plantas A, C, D y F no se realizaron variaciones en la presión de los conos hidráulicos en sus prensas respectivas, ya que sus valores estaban ajustados para pérdidas de aceite no mayores del 6.5 %, siendo este valor un parámetro estándar de gran control en cuanto a pérdidas de aceite.

Para las plantas de beneficio B y E, se realizaron estudios de rompimiento de nuez y pérdida de aceite en fibras para tres valores diferentes de presión en los conos hidráulicos, medidas en psi o como amperaje (sistema automatizado), debido al alto rompimiento inicial de nuez y almendra que influyen directamente en la eficiencia de la columna de desfibrado. en la tabla 10 se reportan las condiciones iniciales y finales establecidas y en la tabla A (anexos), se reporta el comportamiento independiente para cada prensa.

De los resultados obtenidos en estos equipos, se ha encontrado que la ruptura de nuez está relacionada de forma directa con la presión hidráulica aplicada en los conos; además para cada uno de los tipos de prensas y en vista a los valores hallados en esta experiencia, se reporta en la tabla 11 un valor promedio de operación adecuado para obtener mejores eficiencias en esta operación.

Tabla 11. Promedio de Ruptura de nuez en prensas vs. pérdida de aceite.

TIPO DE PRENSA	% RUPTURA.		% AC/SSNA.	
	PROM.	S.D	PROM.	S.D
DOBLE TORNILLO P9	32.5	4.244	5.643	0.1694
DOBLE TORNILLO P5	32	5.036	5.595	1.133

Fuente: Autor.

Es importante determinar la eficiencia de la etapa de prensado según las pérdidas de aceite y almendra en fibras; sin embargo, la diferencia de los rangos establecidos se deben a otros aspectos relacionados a continuación:

- a) Con una presión hidráulica constante, la cantidad de nueces rotas se incrementa de acuerdo con el contenido de nueces en la torta.
- b) Con una composición de fruto constante las pérdidas de aceite en las fibras disminuyen de acuerdo con el incremento en el ajuste de los conos, al mismo tiempo que aumenta la cantidad de nueces rotas.
- c) Con un ajuste constante, el rompimiento de las nueces se incrementa con el porcentaje de almendras en las nueces (cáscaras delgadas).
- d) Con una alimentación inadecuada se obtiene una muy baja capacidad de prensado, en relación con la velocidad de los tornillos de la prensa, incrementando el rompimiento de las nueces.

4.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA COLUMNA DE DESFIBRADO.

• PLANTA A.

Después del proceso de extracción de aceite, esta empresa cuenta con dos líneas independientes de separación de fibra – nuez. Por esta razón se evaluaron por separado para determinar la dimensión de sus pérdidas de almendra en fibra (tabla 12); además se midieron los flujos para cada corriente en palmistería, llevándose al mismo tiempo un muestreo y análisis preliminar para lograr el balance másico general inicial y final respectivamente.

Las columnas de desfibrado para cada línea se evaluaron para 4 posiciones del damper ubicado como salida lateral en sus cuerpos; para cada posición se incrementaron 10° de giro en su eje rotacional (tabla B anexos), para su

máxima capacidad de proceso (tres prensas) como para mediana capacidad (dos prensas), con el fin de determinar sus diferencias en el proceso.

Tabla 12. Comportamiento de las columnas de desfibrado en pérdidas de almendra para la planta de beneficio A.

PLANTA A .												
	LINEA 1						LINEA 2					
	CAPACIDAD 27 TON / HORA						CAPACIDAD 18 TON / HORA					
EST. INIC	LINEA 1			LINEA2			LINEA 1			LINEA 2		
	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	%Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	%Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	%Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	%Efic colum
PROM	8,675	51,884	84,93	5,250	53,766	90,596	8,930	51,118	84,339	6,075	53,227	89,182
S.D	0,735	0,763	1,064	0,083	0,565	0,200	0,255	0,497	0,505	0,288	0,521	0,476
EST. FIN												
PROM	2,175	52,025	95,745	1,798	53,973	96,578	2,418	51,908	95,281	2,033	52,768	96,067
S.D	0,070	0,800	0,147	0,048	1,253	0,130	0,043	1,043	0,169	0,039	1,358	0,037

En la figura 7, se observa la clara reducción en pérdidas de almendra en fibra en las columna 1 y 2 cercanas al 2 %, en vista a los resultados obtenidos la columna 1 y 2 pueden trabajar entre las posiciones 3 - 4 Y 4 (tabla B.1, anexos) respectivamente, estas posiciones establecen el % Almendra/RFF por debajo del valor estándar (0.35 % Alm / RFF), sin involucrar un alto porcentaje de fibra en la corriente de nuez.

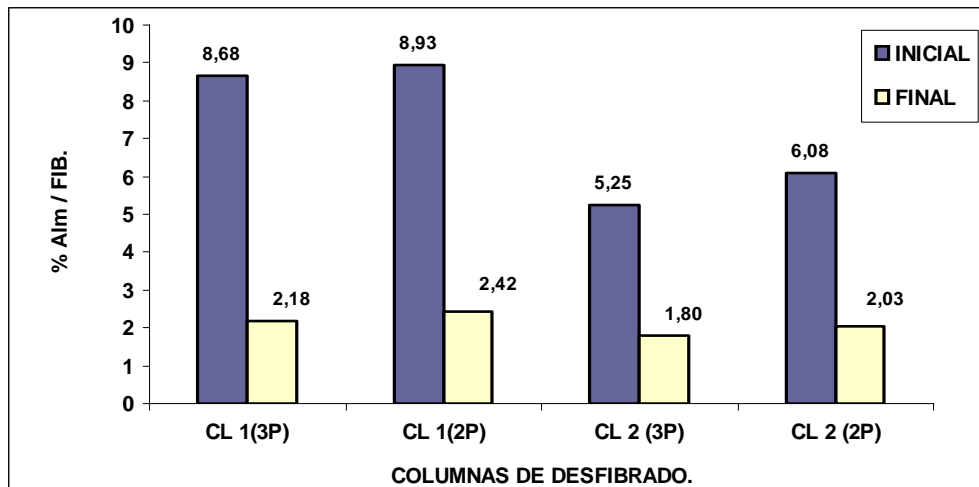


Figura 7. % Pérdidas de almendra en fibras vs. posiciones , para tres prensas en las columnas 1 y 2 (planta A).

Analizando los resultados obtenidos para una mediana capacidad de proceso de fruto (18 ton / hora) para cada línea, se establece un incremento con la capacidad total, en pérdidas del 0.243 % Alm/RFF (11.11 %) y 0.235 % Alm/RFF (11.31 %) para la columna 1 y 2. En estos ensayos el área transversal para la columna 1 y 2 fue constante, con valores de 0.224 m² y 0.57 m² respectivamente.

- **PLANTA B.**

Se desarrolló un estudio teniendo en cuenta la variación de la presión hidráulica aplicada en la cámara de prensado y su relación con el área de flujo en la columna de desfibrado. El estudio se realiza para tres niveles de prensado en cada una de las prensas (tabla 10) y para cada uno de ellos se evaluaron tres áreas transversales en el cuerpo de la columna, como 0.267, 0.296 y 0.326 m² dado como A1, A2 y A3 respectivamente. Se toma el área A1 como margen de comparación y evaluada para una presión P1, siendo estos puntos los parámetros iniciales de operación.

Tabla 13. Comportamiento de la columna de desfibrado en pérdidas de almendra para la planta de beneficio B.

PLANTA B .									
PRESIO N	AREA A1 (0.267 M²)			AREA A2 (0.296 M²)			AREA A3 (0.326 M²)		
P1	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum
PROM	4,038	54,312	92,618	3,613	51,785	93,061	1,795	51,353	97,618
S.D	0,463	2,671	1,115	0,586	2,190	1,214	0,045	0,769	0,297
P2.									
PROM	2,805	53,695	94,738	2,848	53,611	94,675	1,632	54,705	96,986
S.D	0,735	1,520	1,435	0,496	0,791	0,874	0,159	0,525	0,265
P3									
PROM	1,868	51,788	96,337	1,973	50,971	96,069	1,443	54,280	96,960
S.D	0,379	1,527	0,656	0,839	0,674	1,660	0,122	1,710	0,239

Fuente : Autor.

En la tabla 13, se observa que a menor capacidad de prensado, las pérdidas de almendra en fibra disminuyen, notándose una leve reducción al incrementar el área transversal de la columna de desfibrado. En vista de los resultados se asume que sería conveniente controlar el área transversal de la columna, puesto que sería la variable más influyente, manteniendo su capacidad inicial de prensado, ya que se recuperaría un promedio del 2.243 % de almendra en el flujo de fibra y no se estaría sacrificando aceite como pérdidas en el mismo flujo.

En la operación de prensado, las plantas C, D y F cuentan con un sistema automatizado en el control de la presión hidráulica ejercida en los conos (amp), el cual operan con un rango constante. En cada una de ellas se ha encontrado que su rango de operación es una variable poco influyente en el nivel de pérdidas de almendra. Por esta razón el trabajo de campo se desarrolló bajo este parámetro constante para cada una de estas tres plantas mencionadas.

- **PLANTAS C y D.**

Actualmente las plantas C y D, cuentan con dos líneas iguales de operación, la primera se clasifica como una de las más grandes plantas extractoras del país, como la cosecha de fruto en la época de estudio no estaba en su máxima demanda para alimentar las líneas en serie, solo se evaluó la línea 1 para dos capacidades de fruto en el proceso, de la misma manera se evaluó la segunda planta para una sola capacidad de trabajo. En la tabla 14 se justifican los resultados para la condición inicial y para una condición final, después de realizar los cambios correspondientes.

Tabla 14. Comportamiento de las columnas de desfibrado para las plantas de beneficio C Y D.

PLANTA C.						
PARÁMETRO.	CAPACIDAD 27 TON / HORA			CAPACIDAD 18 TON / HORA.		
INICIAL	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum
PROM	4,980	46,880	89,856	5.738	47.614	86.634
S.D	0,110	0,920	0,112	0.158	1.274	0.545
FINAL.						
PROM	1,266	48,810	97,308	1,291	49,195	97,285
S.D	0,153	1,083	0,383	0,071	0,337	0,163
PLANTA D (CAPACIDAD 14 TON / HORA).						
INICIAL	%Alm/ Fibra		%Alm/ Nuez		Efic colum	
PROM	5,151		50,618		90,232	
S.D	0,546		1,741		1,075	
FINAL.						
PROM	1,713		48,564		96,387	
S.D	0,073		0,454		0,157	

Fuente : Autor

En la tabla B.3 (anexos), se nota una regular sensibilidad de la columna de la planta C, frente a las tres áreas transversales establecidas como A1, A2 y A3 para valores de 0.391, 0.419 y 0.44 m², por este motivo se diseñó en la salida del ciclón de fibras, un dispositivo con dos damper; estos fueron fijados para dos posiciones más, AI y AIII (cada posición con un incremento de 10° de giro), manteniendo el área transversal A3 constante.

Con el área transversal A3 de la columna se reducen las pérdidas de almendra en fibra con un valor promedio cercano al 48% (2.396% Alm/RFF) y 38% (1.896 % Alm/RFF), para la capacidad de tres y dos prensas respectivamente, pero se establece una reducción más favorable con la variación del damper en la salida del ciclón, alcanzándose valores de

reducción cercanos al 75 % de reducción con 3.714% y 4.447% de Alm/RFF, para cada capacidad.

Al igual que la planta C, la columna desfibrado en la empresa D se estudió bajo tres posiciones establecidas por el damper ubicado en el cuerpo de la columna, pero la baja sensibilidad en la reducción de pérdidas, obligo a tomar tres nuevas medidas de control sobre el ventilador ubicado en la salida del ciclón.

Con los damper laterales de la columna de separación neumática (columnas de desfibrado), se podrían reducir las pérdidas cerca al 33.5 % de perdidas (1.721 % Alm/RFF), y manipulando el damper de la salida del ciclón manteniendo la posición 3 constante, se obtendrían valores cercanos de reducción del 67% (3.421 Alm/RFF).

Los resultados obtenidos, indican que los correctivos tenidos en cuenta principalmente en el control del damper ubicado en la salida del ciclón, son de gran interés para optimizar el proceso, en donde muestran un alto grado de sensibilidad.

- **PLANTA F.**

Como se observa en la tabla B.6 (anexos) se han seleccionado seis posiciones o aberturas de la ventanilla expuesta en el cuerpo de la columna, cuyas áreas son:0, 45, 75, 120, 150, 225 y 315 cm².

La disminución en pérdidas de almendra en fibras ciclónicas se presenta con una buena sensibilidad hasta la prueba 5, después de esta prueba, las perdidas tienden a mantenerse tendiendo a un limite cercano al 2 % como puede observarse en la figura 23 (anexos).

Tabla 15. Comportamiento de la columna de desfibrado para la planta F.

PLANTA F.						
PARÁMETRO ESTADÍSTICO	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum
	ESTADO INICIAL.			ESTADO FINAL.		
PROM	5,049	53,587	90,874	2,290	53,235	95,620
S.D	0,288	3,060	0,538	0,090	2,398	0,220

Fuente : Autor

La columna puede operar con un rango de abertura entre 150 y 225 cm², dando como resultado disminuciones de pérdidas entre 2.5 y 2.76 % de Alm/RFF, como se observa en la tabla 15.

- **PLANTA E.**

Esta empresa cuenta con dos líneas de trabajo desde la línea de prensado hasta sus respectivas columnas de desfibrado; la línea 1 opera con dos prensas P5 - TRH4.5 – (capacidad 4.5 Ton / Hora) y la línea 2 con dos prensas tipo P6 – TRH 4.5 - (capacidad 6 Ton / Hora). Estas se calibraron para especificar el porcentaje de pérdidas de aceite en fibra de prensas, la pérdida de almendra en fibras ciclónicas y la eficiencia de separación en cada columna (tabla 16).

Tabla 16. Comportamiento de la columna de desfibrado para la planta E.

PLANTA E							
ESTADO INICIAL.		LINEA 1, POSICION 1			LINEA 2, POSICION 1		
		%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum
P1.	PROM	10,840	54,954	82,686	10,651	52.568.	82.255
	S.D	0,830	0,829	0,929	0,881	3,424	1,144
ESTADO FINAL.		LINEA 1, POSICION 2			LINEA 2, POSICION 2,		
P2.	PROM	3,597	52,717	93,242	3,512	52,060	93,304
	S.D	0,222	1,304	0,255	0,145	1,241	0,372

Fuente : Autor

La columna de la línea 1 tiene un área constante de 0.192 m^2 ; por este motivo, sus análisis se centraron en la modificación o variación de dos posiciones del damper ubicado en su cuerpo, Por encima de estas posiciones hay presencia de arrastre de fibras en el tambor pulidor como en los demás ductos de transporte hacia el silo de nuez.

La columna de desfibrado de la línea 2, cuenta con una compuerta capaz de regular el área de la misma, por tanto se realizaron análisis para tres áreas como: $A1 = 0.1798 \text{ m}^2$, $A2 = 0.2015 \text{ m}^2$ y $A3 = 0.2108 \text{ m}^2$.

Cada columna fue evaluada para tres presiones, siendo esta una de las variables más influyente en el proceso de recuperación de almendra, teniendo en cuenta que para la columna 1 los dos últimos rompimientos fueron ensayados para la segunda posición del damper. Como las pérdidas en la columna 2 superan el valor límite estándar $< 0.45 \text{ Alm/RFF}$, para un rompimiento inicial con un área transversal $A3$, se realizó el estudio para esta área con dos rompimientos más, en donde se encontraron mejores resultados, datos que se pueden observar en la tabla B.5 (anexos).

Respecto a los resultados obtenidos, se puede sugerir que las líneas 1 y 2 pueden operarse para rupturas de nuez promedio entre $27 - 30 \%$ y $32 - 35 \%$ respectivamente, con un promedio en perdidas de $AC / SSNA$ aproximadas entre 5.5 y 6% . Con las ultimas condiciones de operación en las columnas, se muestran reducciones de perdidas de almendra en fibra cercanas al 65% .

La figura 8, reporta la eficiencia promedio presentada por las columnas de desfibrado de cada planta. Para el estado inicial, las plantas estudiadas de la zona central presentaban una eficiencia promedio en la zona cercana al 88.97% (con una desviación estándar S.D, 2.57) y con los correctivos

realizados para cada planta se reporta un valor promedio de eficiencia por zona del 95.95 % (con una desviación S.D, 1.0022).

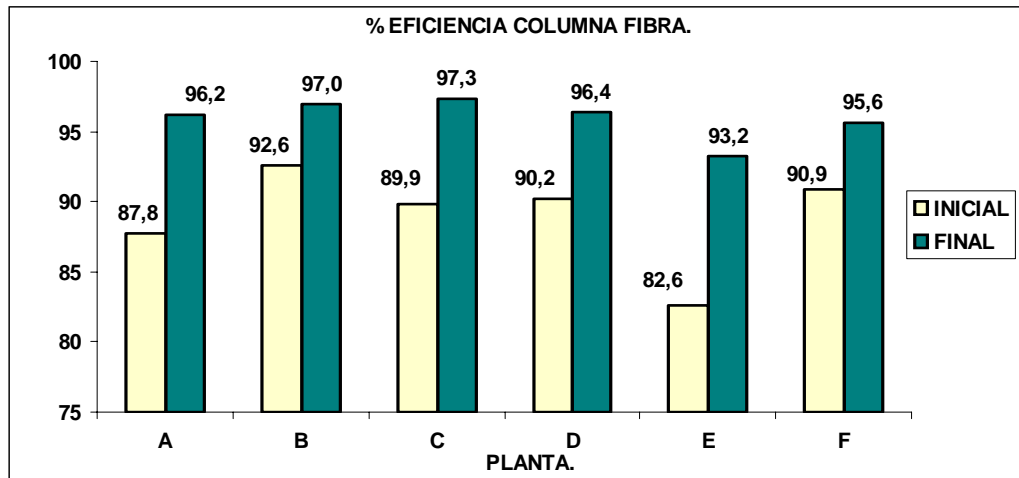


Figura 8. Eficiencia promediada de las columnas de desfibrado.

Se observa un mayor valor en la desviación inicial debido al mayor grado de dispersión de pérdidas que presentaba cada una de las plantas, después de los correctivos realizados la homogeneidad de los resultados es mayor.

Nota:

En esta sección la eficiencia de la columna esta dada por la relación porcentual entre la cantidad de almendra que llega a los silos de nuez y la cantidad de almendra presente en la corriente de fibra.

En forma general, los resultados obtenidos indican que las variables con mayor influencia son el porcentaje de ruptura de nuez proveniente de las prensas y la relación másica entre el sólido – aire. Esta ultima variable se puede acondicionar por medio de los damper laterales, con la variación de las áreas transversales e incluso con la variación del área en la salida del ventilador ubicado en la salida del ciclón (potencia del ventilador). estos resultados están relacionados con la variación de la caída de presión en el sistema.

4.3 BALANCE DE PERDIDAS.

4.3.1 Pérdidas en el proceso de recuperación de almendra.

Con los resultados obtenidos para los flujos másicos para cada corriente participante en el proceso de palmistería y sobre la base de las mejoras realizadas en los equipos de prensado y fibra, se calcularon los balances de masa iniciales y finales para cada planta de beneficio. Posteriormente se clasificaron las plantas de acuerdo con el proceso de recuperación de almendra existente - proceso de recuperación de almendra por vía seca y con sistema combinado (vía seca-vía húmeda) - con el fin de visualizar la efectividad y sus diferencias de trabajo. , Como se mencionó en el capítulo 3 las diferencias en los niveles de pérdidas se deben principalmente a las diferentes tecnologías y equipos utilizados en el proceso.

- **Proceso de recuperación de almendra por vía seca.**

Tabla 17. Proceso de recuperación de almendra por vía seca.

	PLANTA A.		PLANTA B.		PLANTA C.	
FLUJO	%Alm./ RFF INICIAL	%Alm/ RFF FINAL.	%Alm/ RFF INICIAL	%Alm/ RFF FINAL.	%Alm/ RFF INICIAL	%Alm/ RFF FINAL.
FIBRA.	1,185	0,297	0,556	0,199	0.614	0,156
NUEZ.	6,672	6,690	8,909	8,232	5.55	5.78
ALM SECA.	5,593	5,560	8,586	7,950	0.4904	4.54
FINOS	0,922	0,728	0,486	0,454	0,247	0,24
%Alm/RFF TOTAL.	2.107	1.025	1.267	0.653	0.861	0.397
%ALM. RECUP.	72.635	84.434	86.33	92.41	83.42	91.916

Fuente : Autor

Las pérdidas de almendra se presentan en las tablas 17 y 18, teniendo como base de cálculo la magnitud del flujo de cada corriente; además se presentan

las pérdidas como porcentaje sobre Racimo de Fruta Fresca Procesada (RFF), el cual es un indicativo común en la industria de extracción de aceite de palma para el estudio de sus pérdidas y extracción.

Cada una de las plantas pertenecientes a este tipo de proceso, fueron evaluadas para diferentes condiciones de operación. Para las plantas A y C se estudió solo la zona de separación de fibra con la variación de la relación de flujo aire – sólidos. Para la planta B, se estudió además la variable de ruptura de nuez en prensas.

Nota :

En el transcurso de la visita para cada planta de beneficio, se ajustaron los demás equipos en el proceso de palmistería, con ayuda de los operarios, con el fin de reportar mejores resultados en la disminución de pérdidas para el balance de masa final.

En la figura 9, se reportan las reducciones de perdidas iniciales en los flujos de fibra y finos para cada planta (AIN, BIN, y CIN) y como segunda medida se reportan las perdidas finales, para los mismos flujos con el porcentaje de recuperación de almendra respectivamente.

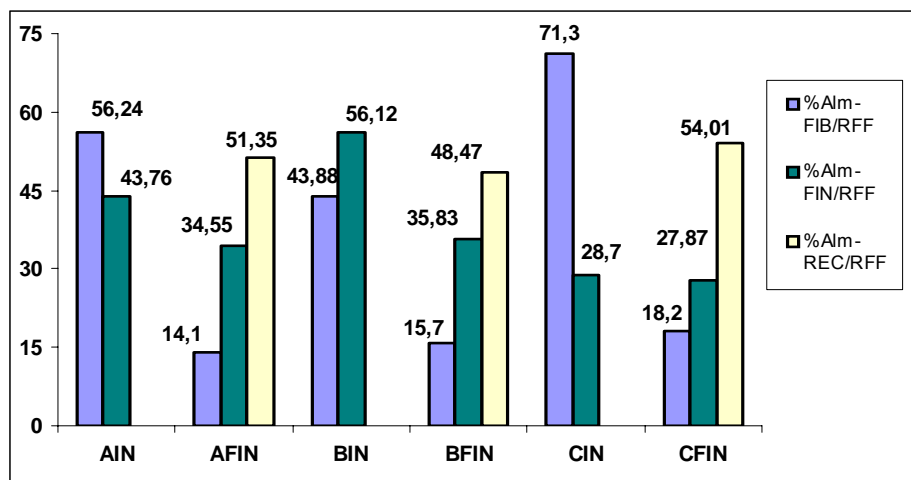


Figura 9. Porcentaje de pérdida total de almendra en el sistema de separación por vía seca.

Con todo lo anterior se disminuyó el porcentaje de pérdida de almendra en fibras para las plantas A, B y C, desde un 50% - 55% hasta un valor promedio cercano al 16%. Además el porcentaje de almendra recuperada puede estar un rango entre 48.5% y 54% . De otro lado, se ha observado que las pérdidas presentadas en la separación de cuesco pueden regularse con mayor facilidad y que a pesar de presentar pérdidas de almendra con fracciones entre 5 y 7% en peso de la corriente, las perdidas solo llegarían alrededor del 0.4% del total de la almendra procesada.

- **Proceso de recuperación de almendra por sistema combinado.**

Tabla 18. Proceso de recuperación de almendra por sistema combinado.

	PLANTA D.		PLANTA E.		PLANTA F.	
FLUJO	%Alm./ RFF INICIAL	%Alm./ RFF FINAL.	%Alm./ RFF INICIAL	%Alm./ RFF FINAL.	%Alm./ RFF INICIAL	%Alm./ RFF FINAL.
FIBRA.	0,612	0,202	1,452	0,484	0,716	0,306
NUEZ.	0,596	6,301	6,896	6,458	6,955	6,928
ALM SECA.	0,596	0,638	6,979	6,689	6,032	6,302
FINOS	0,588	0,344	0,111	0,108	0,252	0,150
ALM HUM.	4,892	5,183	0,056	0,073	0,274	0,309
CASCA HUM.	0,226	0,060	0,052	0,048	0,043	0,022
CASC SECA.	---	---	0,070	0,054	---	---
%Alm/RFF.	1,426	0,606	1,615	0,640	1,011	0,478
%RECUP.	79.377	90.568	80.818	90.462	86.18	93.26

Fuente : Autor

En la tabla 18, se nota con claridad la ventaja que ofrece el sistema combinado de separación de almendra- cuesco sobre el sistema de separación neumático, obteniéndose en este sistema una pérdida promedio de almendra cercano a 0.7 %Alm/RFF , mientras que con el sistema

combinado se podrían obtener máximas pérdidas cercanas al 0.57 %Alm/RFF.

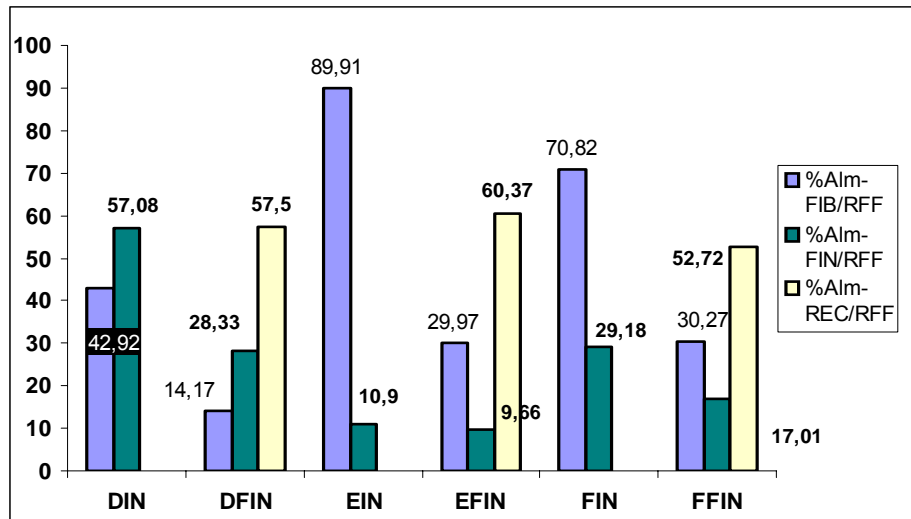


Figura 10. Porcentaje de pérdida total de almendra en el sistema de separación combinado.

Las plantas clasificadas dentro de este tipo de proceso (sistema combinado) fueron evaluadas con el mismo procedimiento aplicado a las plantas con proceso de recuperación por vía seca. Para las plantas D y F se estudió la influencia relacionada en la zona de separación de fibra, variando la relación de flujo aire – sólidos. Por tanto la planta E, fue operada con variaciones en la zona de prensado con tres tipos diferente de porcentaje de ruptura de nuez. En la figura 22 (anexos), se reportan estos cambios sensibles, además en la figura 10, se observa una fuerte influencia dada con la disminución del rompimiento de nuez para la planta E sobre la posterior separación en la columna de desfibrado, tanto que se alcanza a reducir el porcentaje de pérdidas desde un 89.91% hasta un 29.97%. La gran diferencia del porcentaje de pérdidas de almendra entre el flujo de finos en el proceso por vía seca y el flujo tratado por vía húmeda del sistema combinado está

proporcionada con, un rango entre 10 a 15 % de eficiencia. Se encuentra, que la principal diferencia en el rendimiento de estos sistemas proviene de la magnitud de la pérdida en la separación de cuesco, pero finalmente esta alta pérdida es comprendida bajo la conformidad de sacrificar almendra en el cuesco para mantener el nivel de impurezas controlado en la almendra.

En las tablas 17 y 18 se reportan los valores máximos y mínimos de los flujos para cada proceso de palmistería. Gracias a las acciones correctivas necesarias sobre la velocidad lineal del aire, se permitió en gran medida una alta reducción de pérdidas de almendra en esta etapa. En otros casos, como en la planta B y D la pérdida de almendra se presentaba por arrastre de almendra rota debido a la alta ruptura de nuez por las condiciones de prensado, este parámetro obligaría a disminuir la presión en las prensas para evitar esta excesiva ruptura, teniendo en cuenta que con estos cambios se podría aumentar la pérdida de aceite por impregnación en fibras.

El comportamiento de las pérdidas de almendra en las plantas de beneficio, indican que la principal pérdida se produce en fibra. Además, se observan las ventajas de ejercer un control adecuado y los beneficios de tomar las decisiones a tiempo para optimizar el proceso. En la figura 11 se observa la influencia de las pérdidas de almendra en fibras antes y después de realizar la evaluación y estudio en cada una de las seis plantas pertenecientes a la zona central.

Con los datos obtenidos, se muestra una tendencia de esta zona con pérdidas promedio de almendra /RFF, con un valor de 1.381 % Alm/RFF (S.D, 0.335), para un balance inicial en cada planta y un valor de 0.695 %Alm/RFF (S.D, 0.215), para un balance final de almendra por planta después de realizar los correctivos respectivos, lo cual indica que se han logrado reducir las perdidas en la zona hasta un 49.67% aproximadamente.

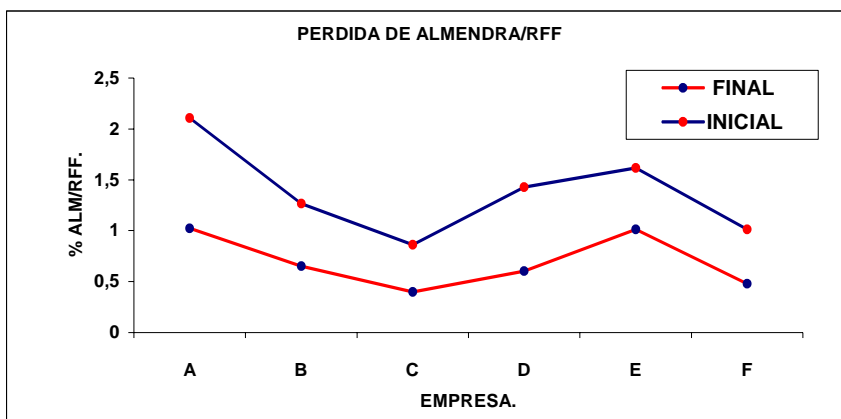


Figura 11. Porcentaje de pérdidas de almendra /RFF en la zona central.

Se ha demostrado la gran utilidad de los balances de pérdidas y la conveniencia de que se realicen estas valoraciones de control de forma continúa, permitiendo tomar decisiones para obtener las mejores eficiencias y grado de rentabilidad en la recuperación de almendra.

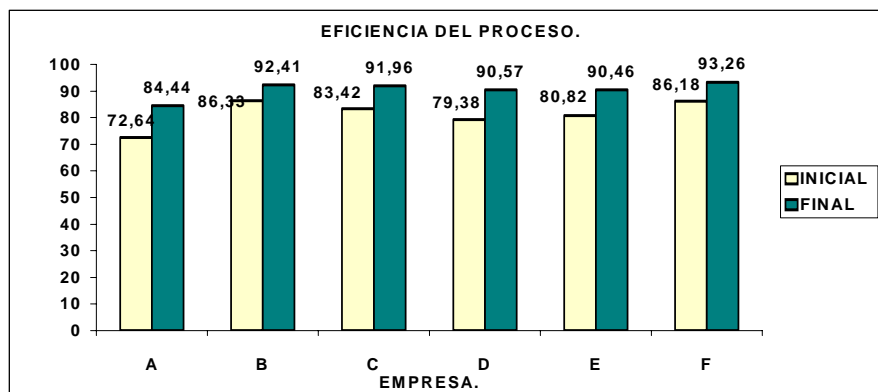


Figura 12. %Eficiencia en el proceso de palmistería en cada planta extractora.

Con el trabajo realizado se pueden estimar las eficiencias en el estado inicial y final para el recuperado de almendra, como se describe en la figura 12. El valor de la eficiencia promedio inicial en la zona estaba cerca del 84.46% con una desviación estándar, S.D de 3.85 y la nueva eficiencia promedio final es de 90.51% con una S.D de 2.044, lo cual significa que los correctivos realizados, incrementan la eficiencia alrededor de un 9 a 10% en el proceso.

Como parte final de esta sección, se presentan en la tabla 19 las utilidades económicas generadas, con la reducción de pérdidas de almendra. Se tiene en cuenta que el precio de venta actual, se toma como referencia el valor reportado por el Fondo de Estabilización a comienzos de este año, con valor de cercano a los 466000 pesos tonelada. Los ingresos obtenidos por hora se interpolaron, tomando como base de cálculo, un tiempo de 16 horas/día de trabajo continuo en cada planta.

Tabla 19. Ingresos por reducción de pérdidas de almendra/RFF.

Planta.	% Alm/RFF Recuperada.	Capacidad (Ton RFF/Hora)	Ingreso pesos/ día.	Ingreso pesos/ mes.
A	1.082	27	2'178.195	60'989.460
B	0.614	14	640.917	17'945.676
C	0.464	27	934.088	26'154.414
D	0.82	14	855.948	23'966.544
E	0.975	21	1'526.616	42'745.248
F	0.533	14	556.366	15'578.248
TOTAL				187'379.640

En la tabla 19 se muestran los ingresos dados, solo en cambios operacionales, sobre la reducción de pérdidas de almendra tanto en la columna de fibra como en otros puntos de control del proceso de palmistería. Estos soportes económicos justifican la importancia de hacer un monitoreo con mayor continuidad para mantener las condiciones de operación lo más constante posible.

4.4 PROPIEDADES FÍSICAS.

En cada una de las tablas reportadas, se determina el promedio, la desviación estándar (S.D) y la varianza a todos las propiedades y para los tres contenidos de humedad.

4.4.1 Tamaño y forma.

El tamaño se determinó para tres contenidos de humedad diferentes (tabla 20) encontrándose que la variación en las dimensiones de sus tres ejes es casi nula como se observa en la tabla 21.

Tabla 20. Contenido de humedad, para tres tamaños de nuez.

PARAM ESTADIS.	HUMEDADES.								
	TIPO I.			TIPO II.			TIPO III.		
	Hum.1	Hum.2	Hum.3	Hum.1	Hum.2	Hum.3	Hum.1	Hum.2	Hum.3
PROMED.	16,35	18,74	20,59	16,50	18,19	22,37	18,98	19,77	20,55
S. D.	0,26	0,96	0,67	0,14	3,08	0,80	0,15	0,42	1,65
VARIANZA	0,12	1,87	0,81	0,03	17,89	1,23	0,03	0,27	6,34

Fuente : Autor

Los valores encontrados para los diámetros equivalentes (De) de la nuez del fruto de la palma de aceite son:

- El De del tamaño del TIPO I oscila entre: 1.86 – 2.43 cm.
- El De del tamaño del TIPO II oscila entre: 1.45 – 1.82 cm.
- El De del tamaño TIPO III oscila entre: 1.175 – 1.21 cm.

Tabla 21. Tamaño de los tres ejes de la nuez del fruto de la palma de aceite.

EJES.	PARAMETRO ESTADISTICO	TAMAÑO cm.		
		TIPO I.	TIPO II.	TIPO III.
MAYOR (A).	PROMEDIO	2,99	2,04	18,99
	S. D.	0,16	0,20	0,19
	VARIANZA	0,47	0,41	0,51
MEDIO (B).	PROMEDIO	2,15	1,60	1,28
	S. D.	0,18	0,14	0,10
	VARIANZA	0,45	0,32	0,14
MENOR (C).	PROMEDIO	1,67	1,33	1,07
	S. D.	0,15	0,11	0,08
	VARIANZA	0,42	0,17	0,09

Fuente : Autor

En la tabla 22 se presentan los valores para el área proyectada, área del círculo circunscrito y la redondez de la nuez.

Tabla 22. Redondez de la nuez del fruto de la palma de aceite para tres tamaños.

PARÁM ESTADÍ.	TIPO I.				TIPO II.				TIPO III.			
	De cm.	Ap Cm ²	Ac Cm ²	% Red	De cm.	Ap Cm ²	Ac Cm ²	% Red	De cm.	Ap Cm ²	Ac Cm ²	% Red
PROM.	2,20	3,82	7,05	55,01	1,64	2,13	3,51	61,63	1,37	1,48	2,87	53,10
S. D.	0,12	0,43	0,74	7,11	0,08	0,22	0,45	6,52	0,08	0,17	0,58	5,99
VARIAN.	0,02	0,26	1,07	83,26	0,01	0,07	0,30	69,93	0,01	0,04	0,48	48,95

Fuente : Autor

Puede observarse que el índice de redondez para cada tipo de nuez es bastante irregular y sus valores dependen en gran medida de la calidad del fruto genérico que lo contienen.

4.4.2 Densidad Aparente.

En la tabla 23 se muestran los valores promedio, la desviación estándar y la varianza de la densidad aparente de la nuez del fruto de la palma de aceite para tres contenidos de humedad.

Tabla 23. Densidad aparente de la nuez del fruto de la palma de aceite para tres contenidos de humedad.

PARAM. ESTADIS.	DENSIDADES APARENTES.								
	TIPO I.			TIPO II.			TIPO III.		
	Hum. 1	Hum. 2	Hum. 3	Hum. 1	Hum. 2	Hum. 3	Hum. 1	Hum. 2	Hum. 3
PROMEDIO	0,5656	0,6104	0,6481	0,6316	0,6675	0,6718	0,6470	0,6615	0,6652
S. D.	0,0124	0,0093	0,0096	0,0269	0,0449	0,0061	0,0097	0,0072	0,0236
VARIANZA	0,0003	0,0001	0,0002	0,0010	0,0045	0,0001	0,0002	0,0001	0,0008

Fuente : Autor

La densidad aparente es una propiedad física que depende con mayor fuerza del tamaño de la partícula. Desde luego, para una variedad de nuez con mayor diámetro, su densidad aparente será menor por que existirá una fracción de vacío mayor, además esta propiedad varia para un mismo tipo de partícula dependiendo del grado de humedad que esta pueda albergar tanto en la parte externa como en su parte interna.

4.4.3 Densidad Real.

Analizando los datos consignados en la tabla 24, se puede observar el comportamiento de la densidad real del producto en estudio aumenta al aumentar el contenido de humedad.

Tabla 24. Densidad real de la nuez del fruto de la palma de aceite para tres contenidos de humedad.

PARAM. ESTADIS.	DENSIDADES REAL.								
	TIPO I.			TIPO II.			TIPO III.		
	Hum.1	Hum.2	Hum.3	Hum.1	Hum.2	Hum.3	Hum.1	Hum.2	Hum.3
PROMEDIO	1,1184	1,1779	1,2909	1,1275	1,1857	1,1973	1,0494	1,0993	1,1226
S. D.	0,0326	0,0071	0,0221	0,0639	0,0896	0,0291	0,0334	0,0209	0,0412
VARIANZA	0,0019	0,0001	0,0009	0,0062	0,0156	0,0014	0,0019	0,0011	0,0041

Fuente : Autor

Con estos resultados de humedad se estima que la relación de absorción de agua por parte de este material puede alcanzar valores cercanos al 25%. La alta porosidad en su superficie, influye sobre el comportamiento de peso y a la vez sobre las densidades aparentes y reales.

Los resultados encontrados para el coeficiente de la desviación estándar y su varianza indican que los valores promedios para cada una de las densidades con sus humedades comprendidas, son confiables.

4.4.4 Porosidad.

En la tabla 25, se reporta el promedio, para cada uno de los tres contenidos de humedad, de la porosidad de la nuez del fruto de la palma de aceite.

Tabla 25. Porosidad de la nuez del fruto de la palma de aceite.

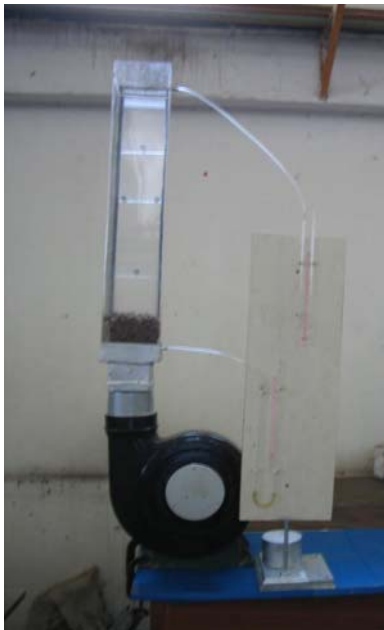
PARAM. ESTADIS.	POROSIDAD.								
	TIPO I.			TIPO II.			TIPO III.		
	Hum. 1	Hum. 2	Hum. 3	Hum. 1	Hum. 2	Hum. 3	Hum. 1	Hum. 2	Hum. 3
PROMEDIO	0,4934	0,4818	0,4977	0,4391	0,4377	0,4285	0,3829	0,4092	0,4068
S. D.	0,0216	0,0049	0,0154	0,0078	0,0057	0,0085	0,0112	0,0063	0,0152
VARIANZA	0,0009	0,0000	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0005

Fuente : Autor

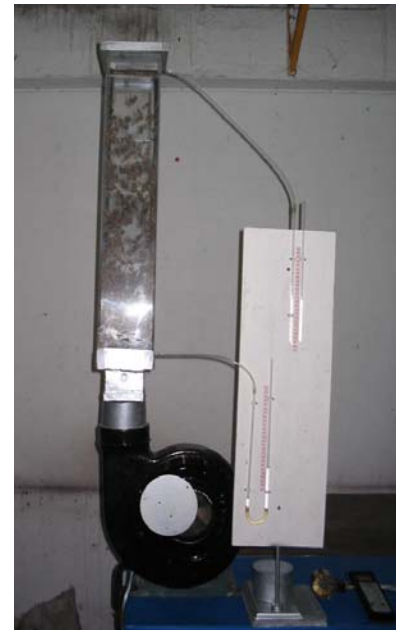
De los datos obtenidos se observa que la porosidad varía inversamente con el tamaño de la nuez y tiende a ser constante para un mismo tipo de nuez aunque su humedad varíe; esto se debe a que la nuez cuando ha alcanzado un nivel de absorción de agua, no presenta deformación alguna en su cuesco, en este caso particular no se tienen datos a los cuales referirnos para nuez del fruto de palma de aceite, pero se puede afirmar que no sucede lo mismo con otros granos tales como: sorgo, ajonjolí, maíz, entre otros, en los cuales la porosidad disminuye al aumentar el contenido de humedad.

4.5 Determinación de la velocidad de separación.

En la figura 13, se observa el prototipo utilizado para medir esta propiedad mecánica de transporte para cada uno de los componentes antes mencionados.



a)



b)

Figura 13. Sistema de fluidización.

a – Lecho de nuez estático.

b – Lecho de nuez dinámico.

El equipo consta principalmente de un soplador o ventilador y de una columna en acrílico transparente con área variable y dos manómetros localizados en la parte inferior y superior del cuerpo de la columna. Este dispositivo se complementa con una lamina en la entrada del succión del soplador con el fin de mantener un rango constante de flujo de aire para cada ensayo.

En la tabla E (anexos), se muestran los valores promedios del comportamiento de la caída de presión y la fracción de espacios vacíos o porosidad con la variación de la velocidad para cada uno de los tamaños de nuez.

Tabla 26. Resultados de practica de fluidización para tres lechos de nuez diferentes.

TIPO I.			TIPO II.			TIPO III.		
Kpa.	Vel, m/s	P/sidad	Kpa.	Vel, m/s	P/sidad	Kpa.	Vel, m/s	P/sidad
0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,59
0,35	2,12	0,55	0,35	2,29	0,57	0,38	2,27	0,59
0,40	2,42	0,58	0,44	2,73	0,64	0,43	2,65	0,66
0,49	2,73	0,63	0,48	4,05	0,62	0,45	3,38	0,64
0,54	4,62	0,66	0,51	5,05	0,67	0,46	4,28	0,66
0,57	7,41	0,61	0,56	6,89	0,68	0,47	5,48	0,70
0,62	10,46	0,63	0,60	8,73	0,69	0,49	6,02	0,69
0,66	13,14	0,65	0,62	10,70	0,68	0,53	7,59	0,68
0,68	15,55	0,60	0,63	12,14		0,55	8,59	
0,68	19,89		0,64	15,20		0,57	11,23	
0,69	23,61		0,64	17,17		0,58	13,34	
						0,59	15,90	

Fuente : Autor

Para observar el comportamiento de fluidización, se tomaron los resultados de cada tipo de nuez para la humedad 2, (H2), en donde es un valor bastante cercano al valor promedio de humedad encontrado en cada planta, en la tabla 26 se observan los resultados.

La curva de variación de la caída de presión en el lecho con la velocidad, presentada en la figura 14, presenta un comportamiento similar al esperado, en el primer intervalo el lecho presenta un comportamiento con tendencia lineal o estable. En el instante que se ha logrado alcanzar el punto B, la pérdida de presión, esencialmente balancea el peso de los sólidos del lecho, entre los puntos B y C el lecho es inestable y las partículas ajustan su posición para presentar la menor resistencia posible al flujo de aire.

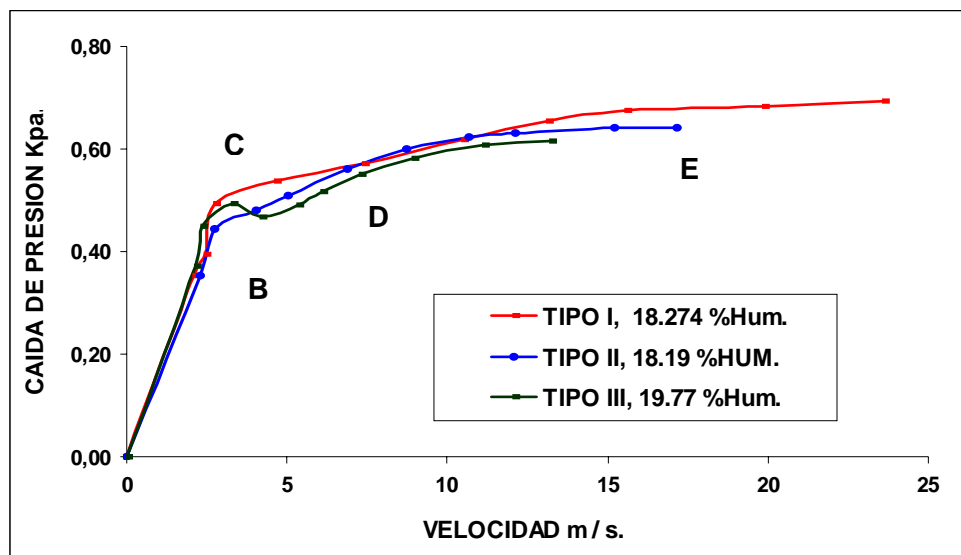


Figura 14. Variación de la caída de presión con la velocidad, para lecho de nuez.

En el punto C las partículas empiezan a moverse libremente, con un movimiento aleatorio, en tal forma que su movimiento es similar al de las partículas en sedimentación retardada, por lo tanto este punto recibe el nombre de “punto de fluidización” . En el periodo en donde se alcanza el

punto D, todas las partículas se encuentran en movimiento y arriba de este punto las caídas de presión disminuyen, conforme continua expandiéndose el lecho - particularidad que se observa con los cambios de la porosidad- , y las partículas se mueven con desplazamientos mas rápidos e independientes. Por ultimo las partículas son arrastradas con el fluido y el lecho cesa de existir, esto ocurre con el punto E, en donde empieza el transporte neumático.

Al aumentar el tamaño de la partícula y su humedad, la caída de presión que debe vencer el flujo de aire es mayor, como consecuencia de su peso. En la tabla C (anexos), se observa que la velocidad de arrastre aumenta en gran escala para amplios rangos de humedad en cada tamaño.

- **Velocidad mínima de fluidización.**

Para determinar matemáticamente la velocidad mínima de fluidización o punto C de la figura 14, se empleo la siguiente ecuación de Ergun:

$$\frac{1.75}{\phi * \epsilon^3} * \left\| \frac{Dp * Vmf * \rho g}{\mu} \right\|^2 + 150 * \frac{(1 - \epsilon)}{\phi^2 * \epsilon^3} * \left[\frac{Dp * Vmf * \rho g}{\mu} \right] = \frac{Dp^3 * \rho g * (\rho s - \rho g) * g}{\mu^2}$$

En esta ecuación se ve representado el numero de Reynolds entre los corchetes, empleando las expresiones propuestas por Cuen Yu, como:

$$\frac{1}{\phi * \epsilon^3} = 14$$

$$\frac{(1 - \epsilon)}{\phi^2 * \epsilon^3} = 11.$$

podremos simplificar la ecuación de la siguiente forma:

$$Re = -33.67 + \left\{ (33.67)^2 + 0.0408 * Ga \right\}^{0.5}$$

donde Ga es representado como:

$$Ga = \frac{Dp^3 * \rho g * (\rho s - \rho g) * g}{\mu^2}$$

Con las densidades absolutas de cada sólido, se calculó la velocidad mínima de fluidización que debe superarse para que el lecho se manifieste en forma dinámica y así se pueda lograr la velocidad de arrastre requerida. En la tabla 27, se reportan los resultados de la velocidad mínima de fluidización (Vmf) o mínima velocidad que se debe vencer para que empiece a existir transporte de sólidos.

El modelo matemático aplicado en este trabajo, de acuerdo con los resultados obtenidos presenta un grado de confiabilidad cerca al 90 %, indicando valores muy cercanos a los reportados como velocidades mínimas de fluidización experimentales.

Tabla 27. Velocidad mínima de fluidización, teórica y experimental para tres tamaños de nuez en función de la humedad.

Nuez	Humedad	pabsoluta.	Ga.	Numero Re	Vmf	vel experim.	%error.
TIPO I	Hum 1	1118,4	4,05E+08	4032,939	2,866	2,570	10,321
	Hum 2	1177,9	4,27E+08	4139,814	2,942	2,730	7,197
	Hum 3	1290,9	4,68E+08	4335,598	3,081	3,660	15,82
TIPO II	Hum 1	1127,52	1,69E+08	2594,481	2,473	2,310	6,596
	Hum 2	1185,72	1,78E+08	2661,515	2,537	2,730	7,600
	Hum 3	1197,3	1,80E+08	2674,655	2,550	2,820	10,607
TIPO III	Hum 1	1049,37	9,18E+07	1902,220	2,171	2,280	5,039
	Hum 2	1099,3	9,62E+07	1947,778	2,223	2,360	6,182
	Hum 3	1122,64	9,82E+07	1968,718	2,246	2,660	15,564

Fuente : Autor

En la tabla 28 se muestran los valores promedio de velocidad terminal o punto E (figura 14), para cada tamaño de nuez con sus tres contenidos de humedad, al igual que la desviación estándar y la varianza.

Tabla 28. Valores promedio de velocidad terminal para los tamaños de nuez con sus tres contenidos de humedad.

	TIPO I.			TIPO II.			TIPO III.		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
PROMEDIO.	17,610	21,745	22,410	15,453	16,184	17,661	13,523	14,120	14,621
S.D	0,338	0,950	0,240	0,332	0,207	2,382	0,315	0,205	0,331
VARIANZA.	0,224	2,124	0,178	0,216	0,084	7,890	0,209	0,071	0,219

Fuente : Autor

Analizando los datos consignados en la tabla 28 y la figura 15, se puede observar que la velocidad terminal del producto en estudio aumenta al aumentar el tamaño de la partícula en forma proporcional.

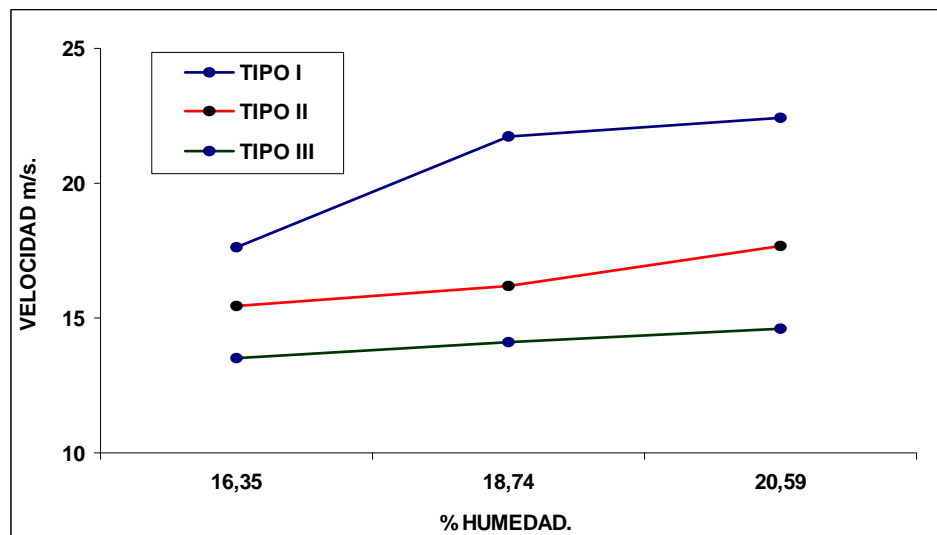


Figura 15. Velocidad de arrastre para los tres tipos de nuez.

El comportamiento de la nuez TIPO I y TIPO II, presentan un pequeño incremento al variar su humedad, pero la nuez de TIPO I, requiere una velocidad mayor para ser transportada a medida que aumenta su humedad,

esta razón se debe principalmente a la mayor capacidad que tiene para albergar grandes cantidades de agua en su superficie, lo cual ayuda a aumentar su peso y como consecuencia se requiere una mayor fuerza acelerante que ayude a contrarrestar los incrementos de las fuerzas resistentes de las partículas.

En la tabla 30 se reportan los valores promedios del comportamiento de arrastre para el componente de fibra, con sus tres humedades (tabla 29).

Tabla 29. % Humedad para fibra de fruto de palma africana.

	H1	H2	H3
PROMEDIO	23,51	33,61	38,47
S.D	0,58	0,54	0,78
VARIANZA	0,52	0,56	1,21

Fuente : Autor

Tabla 30. variación de la caída de presión para fibra de fruto de palma para tres humedades.

H1		H2		H3	
Kpa.	Vel PROM.,	Kpa.	Vel PROM. ,	Kpa.	Vel PROM. ,
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,021	1,720	0,026	1,735	0,046	1,745
0,031	2,210	0,036	1,925	0,062	1,925
0,041	2,450	0,044	2,120	0,071	2,150
0,044	2,510	0,062	2,330	0,069	2,100
0,046	2,630	0,067	2,585	0,093	3,330
0,046	2,720	0,072	2,670	0,098	3,810
0,052	2,790	0,077	2,730		
		0,082	3,005		

Fuente : Autor

El comportamiento de la caída de presión al variar la velocidad, para el lecho de fibra, presenta una tendencia muy similar al proceso de fluidización para nueces, en donde sus pendientes en la figura 16, aumentan al aumentar la cantidad de agua sostenida en su superficie (humedad).

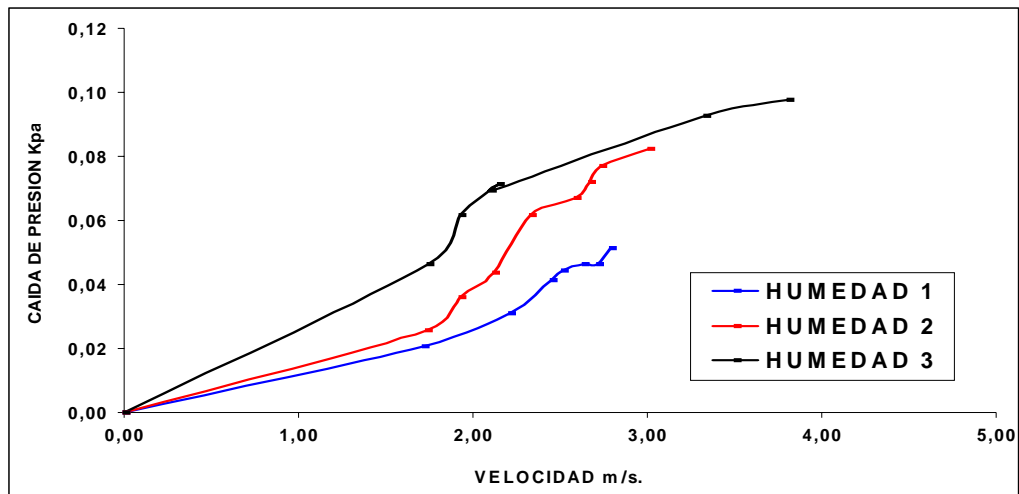


Figura 16. Variación de la caída de presión con la velocidad para lecho de fibra.

Solo cambia en la expresión de sus resultados, en donde se necesita una fuerza acelerante mucho menor (velocidad de separación) para equilibrar el peso del lecho.

Los resultados dados para este componente, indican que se necesitarían pequeñas diferencias de velocidad al aumentar la humedad, pero hay otra propiedad física característica para esta clase de producto y es la gran facilidad que tienen para formar grandes aglomeraciones de masa, debido al entrecruzamiento independiente que tiene cada fibra para comportarse como filamento o gancho entre sí, este entrecruzamiento se nota con mayor proyección cuando aumenta la humedad, luego, esta es la una de las posibles razones para pensar que los tamaños medianos de partículas arrastradas en esta corriente se debe al envolvimiento dado por estas masas.

En vista a los resultados obtenidos, en las columnas de separación de fibra –nuez, se pueden utilizar corrientes de aire con una velocidad lineal entre 8 y 10 m/s y con un control de rompimiento en prensas, se tendrá la seguridad de una buena separación de las fibras.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- El sistema operacional de prensado es una de las variables más importantes de control, que incide directamente sobre el rompimiento de nuez y almendra. Este rompimiento está influenciado por otros factores como el tipo y cantidad de fruto procesado.
- En los equipos de prensado se ha observado que las prensas tipo P9 inciden sobre una ruptura mayor de nuez que las de tipo P5, es posible establecer rangos no superiores de rompimiento del 33 % y 28% respectivamente. Con estos valores se conseguirían pérdidas de aceite en fibra cerca al valor limite estándar del 6.5 % y mejores resultados sobre la reducción de pérdida de almendra en fibras ciclónicas.
- Las columnas de desfibrado, son puntos en donde existen las mayores pérdidas de almendra, alcanzándose valores cercanos entre el 50 y 70 % del total de pérdidas. Adecuando y controlando el área transversal y la capacidad de flujo de aire en la salida del ciclón, se pueden reducir las perdidas hasta un valor cercano al 20 % .
- Para un estado inicial las plantas estudiadas de la zona central presentaban una eficiencia promedio en la columna cerca al 88.97 % (con una desviación estándar S.D, 2.57) y con los correctivos realizados para cada planta se reporta un valor promedio de eficiencia por zona del 95.95 % (con una desviación S.D, 1.0022).

- Operando la columna de desfibrado con una mediana capacidad, como se observa en los resultados de las plantas A y C, su eficiencia puede disminuir cerca del 12%, comparado con la máxima capacidad de proceso.
- La eficiencia en la recuperación total de almendra en cada planta depende en gran medida de la clase de proceso que estén aplicando, ya sea si es una planta con proceso por vía seca o si lo es por sistema combinado. por tal razón se requiere de un estudio adicional para determinar los demás puntos de operación en palmistería, con el fin de disminuir la pérdida en los sistemas neumáticos previos, como en el hidrociclón respectivamente.
- La eficiencia promedio del proceso de palmistería, inicialmente se encontraba cerca del 84.46% , pero mejorando solo los correctivos operativos es posible conseguir eficiencias de recuperación de almendra cercanas al 90.5%, lo cual significa que el trabajo realizado incrementa la eficiencia alrededor de un 9 a 10% en el proceso, sin inversiones significativas.
- Con un estudio más detallado de las variables de mayor influencia en la columna, se podría pensar en la automatización de esta, en donde se permita variar las áreas de su cuerpo así como el flujo de aire de forma instantánea de acuerdo a la capacidad de fruto a procesar.
- Los resultados experimentales de las velocidades de arrastre en función de la humedad, sobre los diferentes tamaños de nuez, nos sirven como patrón en la calibración de las condiciones de operación de la columna como en la eficiencia de secado en el rompeta.

- Los valores de velocidad de arrastre determinados para fibra y nuez presentan una diferencia bastante definida. De acuerdo con estos resultados se pueden separar estos componentes con la menor humedad permisible en el proceso en planta, para evitar arrastre de partículas con la fibra, debido a la propiedad de entrecruzamiento que presentan éstas para aglomerarse.
- Es importante adelantar también estudios sobre las propiedades físicas y mecánicas de la almendra, ya que este producto se encuentra en el flujo de torta de fibras y su velocidad de arrastre es menor que el tamaño de nuez promedio, con esta propiedad mecánica se podría encontrar una relación frente al comportamiento de fibra dentro de la columna.
- La eficiencia en la recuperación de almendra, presenta grandes perspectivas económicas para las plantas extractoras, en el mercado nacional como internacional, en donde su demanda es bastante atractiva para la extracción de aceite y torta de palmiste, siendo estos una rica materia prima para la generación de otros productos.

BIBLIOGRAFIA.

1. MAZZANI. B, Plantas Oleaginosas. Salvat Editores S.A, Barcelona, 1985. pag. 1-3, 359-371.
2. GONZALES. Gloria.M, Cartilla. Diplomado de la Palma, Aspectos Generales Historicos y Botánicos de la palma Africana de Aceite. INDUPALMA. Julio 2003.
3. VALLEJO, G. Palma Africana, Manual de asistencia técnica N° 22, Bogota 1978, p 25-27, 55.
4. DURAN. Q. 1999, Evaluación de la eficiencia en el proceso de recuperación de almendra. Tesis – UIS.
5. OSPINO Angelica. Estudio de metodos y tiempos desarrollado en las Palmeras de Puerto Wilches S.A. Tesis de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga del 2000.
6. FERNÁNDEZ, Carlos. Estudio de ciclos de esterilización de racimos de palma africana de aceite, durante el proceso de extracción en la planta de Agroince. Tesis – UIS Bucaramanga. 100 p.
7. BALLESTEROS, Yeceny y CENTENO, Martha. 2001. Estudio de factibilidad para el montaje de una planta procesadora de aceite y torta de palmiste en el municipio de Santander. Tesis – UIS. Bucaramanga. 328 p
8. INSTITIUT PENYELIDIKAN MINYANK. 1952 – 1955. Mongana report (translation), vol 2.
9. GERCHOW J, Frank. How To Select a Pneumatic-Conveying System. February 17 of 1975, Chemical Engineering.

10. KRAUS N, Milton. Pneumatic Conveying Systems. October 13 of 1986, Chemical Engineering.
11. TARAZONA C, Alfonso. Elaboración de un Software Para la Selección de Equipos Requeridos en Sistemas de Transporte Neumático del Carbón. Bucaramanga, 2000. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química.
12. WEBER M, Germany. Principles of Hydraulic and Pneumatic Conveying in pipes. Bulk Solids Handling, Volume 1, Number 1, February 1981.
13. HERNÁNDEZ Garay, Herzen. Manejo de sólidos y separación de sólido-fluido. Bucaramanga , 1991. 156 p. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería química.
14. PERRY, Robert H y Chilton, Cecil H. Manual del ingeniero Químico. Ed. Mc Graw-Hill. 5° ed, Bogotá 1982.
15. GREENE W, Richard. Compresores : Selección, uso y mantenimiento. México, McGraw-Hill, 1992. 292 p.
16. KUNII DAIZO, Levenspiel. Fluidization Engineering. New York. Jhon Wiley and Sons, Inc. 64-98, 326-348 p.
17. DAVIDSON. J.F, Harrison. D, Fluidised Particles. Ed. Academia Press. Londres, 1971 Pag, 3-21.
18. MCCABE , Smith, Harriot. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4ª edición . McGraw-Hill, Madrid. 1988.
19. FEDEPALMA, Anuario Estadístico 2002. El cultivo de la palma de aceite en Colombia y el mundo. Publicación Financiero por el Fondo de Fomento Palmero. 2002.

20. HAMBLIN, F. Keith. Extracción de aceite de palma y nuevos criterios de procesamiento. Revista Palmas, vol 12. 1991.
21. BELTRÁN, Carlos. Manual de laboratorio para plantas de extracción de aceite de palma.
22. OSPINA. M, Julio E., Manual de Manejo Postcosecha de Granos y Análisis de Calidad de Granos. Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad d Ingeniería. Universidad nacional de Colombia. Bogotá. 2002. Pag. 118-119.
23. CASTILLO. M., Martha C. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de la nuez del fruto de la palma de aceite variedad tenera. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Agrícola. Universidad Nacional. Bogotá 2002.
24. CUBIDES. M., Rommel. BAQUERO T., Néstor. Determinación de Algunas Propiedades Físico-Mecánicas del Maíz. Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. 1998
25. OSPINA. M, Julio E., Manual de Manejo Postcosecha de Granos y Análisis de Calidad de Granos. Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad d Ingeniería. Universidad nacional de Colombia. Bogotá. 2002. Pag. 118-119.
26. CASTILLO. M., Martha C. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de la nuez del fruto de la palma de aceite variedad tenera. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Agrícola. Universidad Nacional. Bogotá 2002.

ANEXOS

En esta sección se reportaran las condiciones de operación en el área de prensado con que se realizaron los ensayos, los datos de las perdidas almendra en fibras ciclónicas y la eficiencia de separación en cada columna para cada ajuste y finalmente se reportan los datos de los balances de masa inicial y final para cada una de las plantas de beneficio. Además se reportan los datos de la variación de presión en función de la velocidad, en forma detallada para los tres tamaños de nuez.

Anexo A. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PRENSADO PARA CADA PLANTA DE BENEFICIO.

Tabla A. Condiciones de operación general en el sistema de prensado en cada planta de beneficio.

PARÁMETRO ESTADÍS.	PLANTA A .								
	PRENSA 1 P-9.			PRENSA 2 P-9.			PRENSA 3 P-9.		
	PRES.	RTO	AC/SSNA	PRES.	RTO	AC/SSNA	PRES.	RTO	AC/SSNA
PROMEDIO	1425.7	32.14	5.087	1342.86	32.71	5.527	1135.71	37.86	5.738
S.D	35.10	2.163	0.612	38.78	4.326	0.535	48.98	3.02	0.707
	PLANTA B .								
	PRENSA 1 P-9.			PRENSA 2 P-5.					
	PRES.	RTO	AC/SSNA	PRES.	RTO	AC/SSNA			
PROMEDIO	798.75	38.5	5.33	490	31.368	5.3075			
S.D	2.165	0.43	0.0563	10	1.291	0.2046			
PROMEDIO	701.25	27,325	5,535	370	28,6275	5,9425			
S.D	8.926	5,070	0,2075	21.213	1,759	0,495			
PROMEDIO	530	27,555	5,7675	367,5	26,4675	6,94			
S.D	21,213	1,448	0,523	11,456	1,353	0,1125			
	PLANTA C .								
	PRENSA 1 P-9.			PRENSA 2 P-9.			PRENSA 3 P-9.		
	PRES.	RTO	AC/SSNA	PRES.	RTO	AC/SSNA	PRES.	RTO	AC/SSNA
PROMEDIO	717,5	31,38	5,758	750	36,54	6,04	730	38,35	5,32
S.D	17,5	1,488	0,214	17.5	1.055	0.191	15	0.87	0.3

PLANTA D .												
PARÁM.	PRENSA 1 P-7.						PRENSA 2 P-7.					
	PRES.	RTO	AC/SSNA	PRES.	RTO	AC/SSNA	PRES.	RTO	AC/SSNA	PRES.	RTO	AC/SSNA
PROM	687,5	40,06	5,9525	687,5	34,585	5,8175						
S.D	37,5	0,995	0,3675	18,75	1,0325	0,1775						
PLANTA E.												
	PRENSA 1 P-5			PRENSA 2 P-5			PRENSA 3 P-5			PRENSA 3 P-5		
	PRE	RTO	AC/S	PRE	RTO	AC/S	PRE	RTO	AC/S	PRE	RTO	AC/S
PROM	38,39	29,13	5,163	42,07	40,82	5,856	51,815	49,26	3,718	57,75	46,5	3,288
S.D	0,445	0,575	0,073	1,113	1,3	0,176	0,74	3,505	0,062	0,574	3,1	0,085
PROM	34,66	27,36	6,042	37,96	29,32	6,002	48,263	46,29	3,868	49,39	35,19	3,918
S.D	0,612	0,695	0,108	0,337	0,77	0,064	0,238	1,425	0,191	0,394	0,687	0,167
PROM	32,41	26,25	6,154	34,71	29,16	6,137	45,25	34,35	5,128	44,43	31,63	4,545
S.D	0,543	1,579	0,127	0,188	0,85	0,102	0,5	0,568	0,143	0,4	1,462	0,240
PLANTA F.												
	PRENSA 1 P-7.						PRENSA 2 P-7.					
	PRES.	RTO	AC/SSNA	PRES.	RTO	AC/SSNA	PRES.	RTO	AC/SSNA	PRES.	RTO	AC/SSNA
PROM	41,87	28,51	6,014	42,27	25,07	6,73						
S.D	1,689	1,902	0,302	0,689	3,587	0,347						

Tabla A1. Porcentaje de humedad en palmistería para cada planta.

FLUJO	PLANTA.					
	A	B	C	D	E	F
FIBRA DE PRENSAS	34.5/ 37.5	36.25/38.37	34.4/36.8	35.41/37.62	34.14/37.98	36.7/37.5
FIBRAS CICLON.	29.3/31.4	28.3/30.32	29.5/31.06	31.1/33.9	30.14/31.45	29.11/28.18
NUEZ	14.38/15.35	11.8/12.22	14.8/16.54	13.74/14.85	13.44/13.89	14.75/16.83
ALMENDRA SECA.	16.13/16.88	13.41/14.53	12.8/13.11	13.24/14.58	14.96/15.29	14.2/16.83
ALMENDRA HUMEDA.	----	----	----	18.08/20.38	21.35/23.77	22.57/24.16
CASCARA SECA.	15.33/16.65	14.75/15.84	15.52/16.87	15.4/16.03	14.86/15.34	14.42/15.6
CASCARA HUMEDA.	----	----	----	23.82/25.9	21.75/24.08	22.47/24.6

Anexo B. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA COLUMNA DE DESFIBRADO PARA CADA PLANTA DE BENEFICIO.

- **PLANTA A.**

Tabla B.1. Condiciones de operación en el sistema de desfibrado, planta A.

PLANTA A .												
	CAPACIDAD 27 TON/HORA						CAPACIDAD 18 TON/HORA					
	LINEA 1			LINEA2			LINEA 1			LINEA 2		
POSICION 1	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	%Efic column	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	%Efic column	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	%Efic column	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	%Efic column
PROM	8,675	51,884	84,930	5,250	53,766	90,596	8,930	51,118	84,339	6,075	53,227	89,182
S.D	0,735	0,763	1,064	0,083	0,565	0,200	0,255	0,497	0,505	0,288	0,521	0,476
VARIANZA	0,791	0,605	1,766	0,009	0,481	0,048	0,070	0,359	0,277	0,091	0,435	0,280
POSICION 2												
PROM	5,540	51,158	89,691	2,980	52,529	94,306	5,705	50,903	89,349	3,543	53,705	93,445
S.D	0,435	0,578	0,673	0,220	0,962	0,481	0,302	0,860	0,663	0,113	1,400	0,240
VARIANZA	0,257	0,380	0,624	0,074	1,285	0,353	0,105	1,058	0,511	0,018	2,178	0,085
POSICION 3												
PROM	3,283	50,955	93,592	1,798	53,973	96,578	3,565	52,015	93,206	2,033	52,768	96,067
S.D	0,118	0,712	0,167	0,048	1,253	0,130	0,097	0,990	0,261	0,039	1,358	0,037
VARIANZA	0,014	0,763	0,042	0,003	2,349	0,025	0,013	1,410	0,086	0,003	2,170	0,002
POSICION 4												
PROM	2,175	52,025	95,745	1,798	53,973	96,578	2,418	51,908	95,281	2,033	52,768	96,067
S.D	0,070	0,800	0,147	0,048	1,253	0,130	0,043	1,043	0,169	0,039	1,358	0,037
VARIANZA	0,007	0,891	0,030	0,003	2,349	0,025	0,002	1,165	0,029	0,003	2,170	0,002

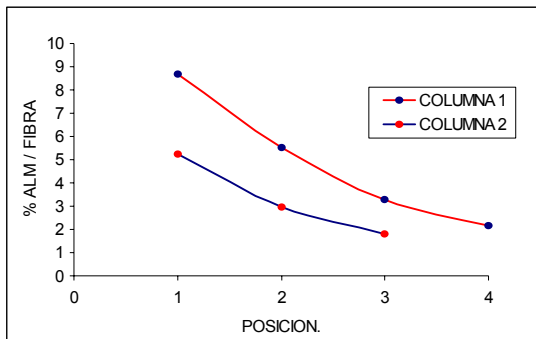


Figura 17. Comportamiento de las Perdidas de almendra en fibras vs posiciones, para tres prensas en las columnas 1 y 2.

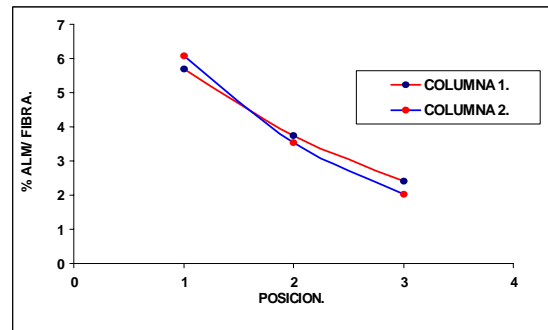


Figura 18. Comportamiento de las Perdidas de almendra en fibras vs posiciones, para dos prensas en las columnas 1 y 2.

- **PLANTA B.**

Tabla B.2. Condiciones de operación en el sistema de desfibrado, planta B.

PLANTA B .									
PRESION	POSICION 1			POSICION 2			POSICION 3		
	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum
P1									
PROM	4,038	54,312	92,618	3,613	51,785	93,061	1,795	51,353	97,618
S.D	0,463	2,671	1,115	0,586	2,190	1,214	0,045	0,769	0,297
VARIANZA	0,412	14,130	2,517	0,636	7,779	2,849	0,005	1,086	0,185
P2.									
PROM	2,805	53,695	94,738	2,848	53,611	94,675	1,632	54,705	96,986
S.D	0,735	1,520	1,435	0,496	0,791	0,874	0,159	0,525	0,265
VARIANZA	1,095	3,427	3,795	0,494	1,026	1,399	0,049	0,371	0,142
P3									
PROM	1,868	51,788	96,337	1,973	50,971	96,069	1,443	54,280	96,960
S.D	0,379	1,527	0,656	0,839	0,674	1,660	0,122	1,710	0,239
VARIANZA	0,316	5,477	1,004	1,446	0,989	5,600	0,035	4,843	0,118

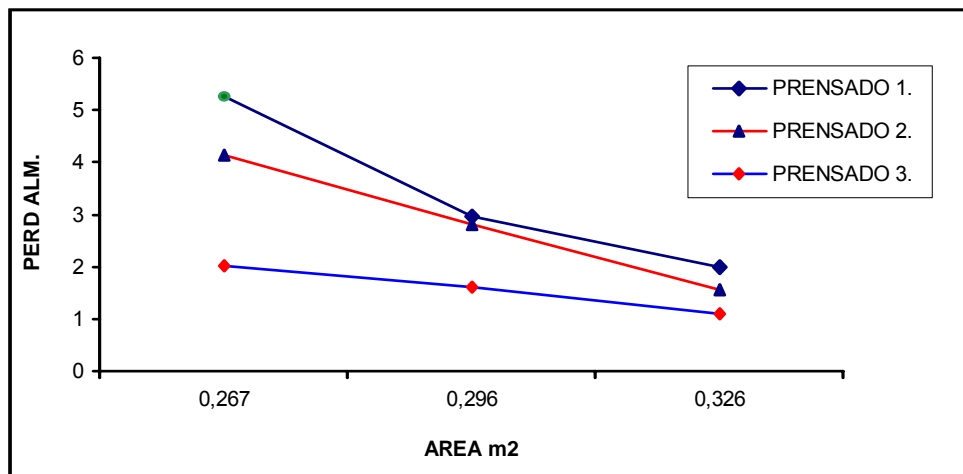


Figura 19. Presión vs áreas de flujo.

- **PLANTA C.**

Tabla B.3. Condiciones de operación en el sistema de desfibrado, planta C.

PLANTA C.						
	CAPACIDAD 27 TON/HORA			CAPACIDAD 18 TON/HORA.		
POSICION 1	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum
PROM	4,980	46,880	89,856	5.738	47.614	86.634
S.D	0,110	0,920	0,112	0.158	1.274	0.545
VARIANZA	0,0226	1,767	0,0212	0.0425	2.939	0.469
POSICION 2						
PROM	3,364	47,576	93,011	4,702	48,544	90,664
S.D	0,096	0,676	0,199	0,229	1,013	0,400
VARIANZA	0,0234	0,7457	0,0740	0,0889	1,9864	0,3342
POSICION 3						
PROM	2,584	47,274	94,501	3,842	47,892	92,110
S.D	0,226	0,894	0,552	0,073	3,323	0,527
VARIANZA	0,0717	1,1354	0,4270	0,01047	14,900	0,4235
POSICION 4						
PROM	2,483	49,946	94,986	2,651	51,440	94,806
S.D	0,175	0,759	0,305	0,141	0,718	0,321
VARIANZA	0,04336	1,0468	0,1239	0,0476	1,0918	0,1911
POSICION 5						
PROM	1,266	48,810	97,308	1,291	49,195	97,285
S.D	0,153	1,083	0,383	0,071	0,337	0,163
VARIANZA	0,04260	2,2363	0,2638	0,0114	0,2284	0,0592

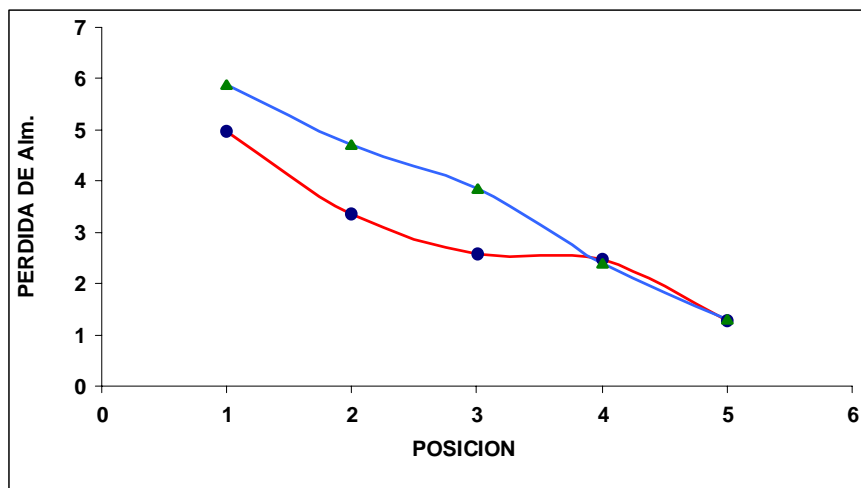


Figura 20. Perdidas de almendra vs Posiciones, para tres (rojo) y dos prensas (azul).

- **PLANTA D.**

Tabla B.4. Condiciones de operación en el sistema de desfibrado, planta D.

PLANTA D .						
PARÁMETRO ESTADÍSTICO	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum
	POSICION 1			POSICIÓN 4		
PROM	5,151	50,618	90,232	4,360	45,953	90,840
S.D	0,546	1,741	1,075	0,095	0,426	0,170
VARIANZA	0,550	5,851	2,087	0,018	0,357	0,062
	POSICION 2			POSICION 5		
PROM	4,595	51,940	91,414	2,055	48,575	95,698
S.D	0,403	0,355	0,697	0,052	0,460	0,117
VARIANZA	0,341	0,234	0,992	0,0061	0,4510	0,0292
POSICION 3.	POSICION 3.			POSICION 6		
PROM	3,430	51,560	93,395	1,713	48,564	96,387
S.D	0,240	2,410	0,354	0,073	0,454	0,157
VARIANZA	0,106	10,553	0,226	0,011	0,435	0,056

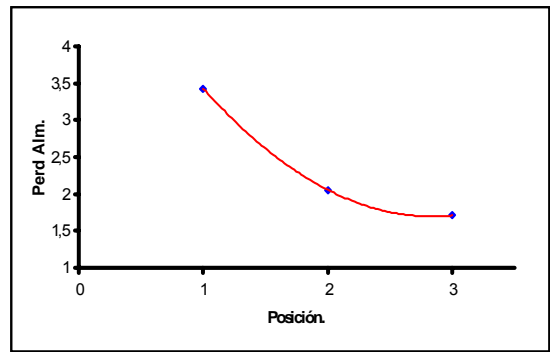
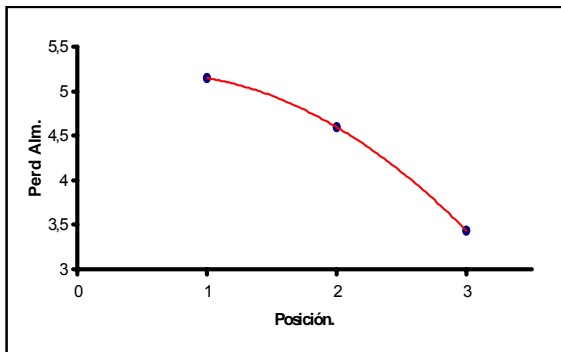


Figura 21. Posición del Damper Vs Perdidas de Almendra.

• **PLANTA E.**

Tabla B.5. Condiciones de operación en el sistema de desfibrado, planta E.

PLANTA E										
PRESION.	LINEA 2.									
		POSICION 1			POSICION 2			POSICION 3		
RTO 1.		%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic column	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic column	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic column
	PROM	10,840	54,954	82,686	7,223	52,006	87,124	4,902	55,295	91,406
	S.D	0,830	0,829	0,929	0,312	1,295	0,700	0,524	0,422	0,782
	VARIANZA	1,055	1,471	1,671	0,195	3,704	0,924	0,533	0,280	1,189
LINEA 1,										
POSICION 1					POSICION 2					
RTO 1.		%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic column	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic column			
	PROM	10,651	52,568.	82,255	7,155	53,540	87,564			
	S.D	0,881	3,424	1,144	0,300	1,186	0,299			
	VARIANZA	1,068	15,774	2,876	0,129	2,748	0,212			
LINEA 1					LINEA 2,					
POSICION 2					POSICION 2,					
RTO 2.	PROM	3,890	54,147	92,904	3,610	54,935	93,471			
	S.D	0,115	0,459	0,248	0,152	1,327	0,227			
	VARIANZA	0,028	0,418	0,130	0,042	2,749	0,099			
RTO 3.	PROM	3,597	52,717	93,242	3,512	52,060	93,304			
	S.D	0,222	1,304	0,255	0,145	1,241	0,372			
	VARIANZA	0,068	3,118	0,135	0,040	2,418	0,214			

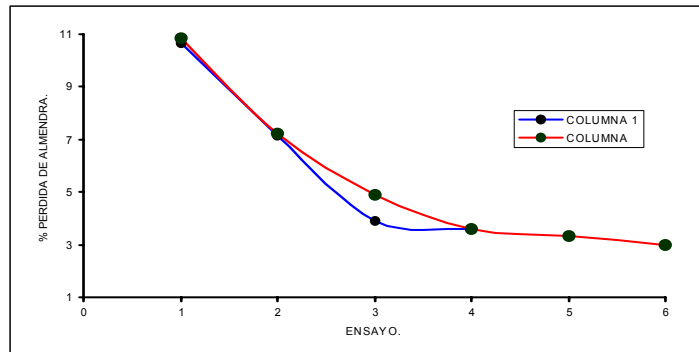


Figura 22. Comportamiento del % Perdidas de almendra en las columnas para cada ensayo.

- **PLANTA F.**

Tabla B.6. Condiciones de operación en el sistema de desfibrado, planta F.

PLANTA F.						
PARÁMETRO ESTADÍSTICO	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum	%Alm/ Fibra	%Alm/ Nuez	Efic colum
	POSICION 1			POSICIÓN 4		
PROM	5,049	53,587	90,874	2,829	53,230	94,647
S.D	0,288	3,060	0,538	0,052	1,327	0,198
VARIANZA	0,118	12,684	0,616	0,005	3,406	0,082
	POSICION 2			POSICION 5		
PROM	3,918	55,034	92,965	2,557	54,068	95,214
S.D	0,108	0,791	0,211	0,136	0,493	0,245
VARIANZA	0,019	0,933	0,073	0,027	0,349	0,086
POSICION 3.	POSICION 3.			POSICION 6		
PROM	3,310	55,334	94,028	2,290	53,235	95,620
S.D	0,161	1,637	0,198	0,090	2,398	0,220
VARIANZA	0,056	4,392	0,057	0,013	8,049	0,092

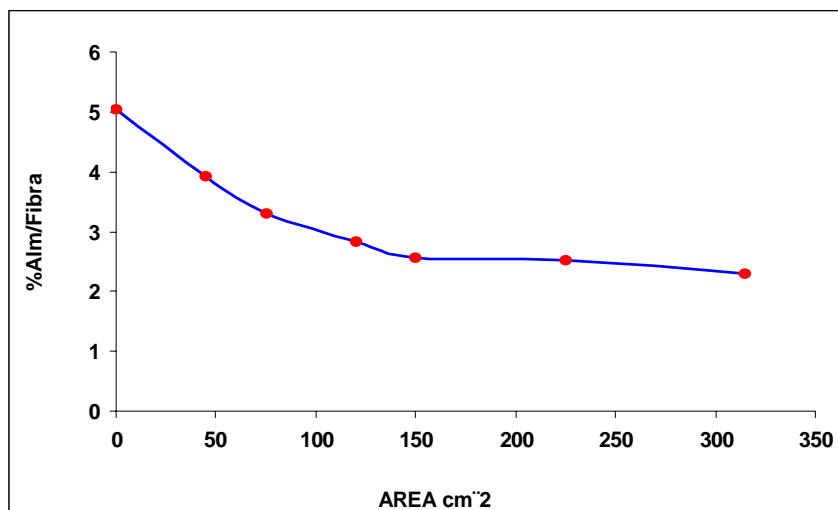


Figura23. % Perdidas de almendra en fibras vs área.

Anexo C. BALANCE DE PERDIDAS DE ALMENDRA GENERAL EN EL PROCESO DE PALMISTERIA PARA CADA PLANTA DE BENEFICIO.

Tabla C, Balance de masa.

PLANTA A,					
BALANCE INICIAL					
FLUJO	Kg. / H.	FLUJO/RFF.	%Alm/FLUJO	%Alm/RFF.	
FIBRA.	3690,000	13,667	8,671	1,185	% PERDIDA
NUEZ.	3472,000	12,859	51,884	6,672	2,107
ALM SECA.	1620,000	6,000	93,220	5,593	% RECUPER
FINOS	1590,000	5,889	15,660	0,922	72,635
BALANCE FINAL,					
FIBRA.	3690,000	13,667	2,175	0,297	% PERDIDA
NUEZ.	3472,000	12,859	52,025	6,690	1,025
ALM SECA.	1620,000	6,000	92,667	5,560	% RECUPER
FINOS	1590,000	5,889	12,356	0,728	84,436
PLANTA B					
BALANCE INICIAL.					
FIBRA.	2066,500	13.777	4.038	0,556	% PERDIDA
NUEZ.	2280,000	15.200	54.312	8,909	1.267
ALM SECA.	1260,000	8.400	95.250	8,586	% RECUPER
FINOS	1019,500	6.797	10.450	0,710	86.33
BALANCE FINAL.					
FIBRA.	2070,000	13,800	1,443	0,199	% PERDIDA
NUEZ.	2275,000	15,167	54,280	8,232	0.653
ALM SECA.	1250,000	8,333	95,400	7,950	% RECUPER
FINOS	1019,500	6,797	6,680	0,454	92.41
PLANTA C.					
BALANCE INICIAL,					
FIBRA.	3330,000	12.33	4,980	0.614	% PERDIDA
NUEZ.	2335,000	11.84	46,880	5.55	0,861
ALM SECA.	1536,000	5.69	86,180	0.4904	% RECUPER
FINOS	761,000	2.82	8,770	0,247	83,420
BALANCE FINAL.					
FIBRA.	3330,000	12.33	1,266	0,156	% PERDIDA
NUEZ.	2335,000	11.84	48,810	5.78	0,397
ALM SECA.	1536,000	5.69	79,800	4.54	% RECUPER
FINOS	761,000	2.82	8,540	0,24	91,961

PLANTA D,					
BALANCE INICIAL,					
FLUJO	Kg / H.	FLUJO/RFF.	%Alm/FLUJO	%Alm/RFF.	
FIBRA.	1680,000	12	5,332	0,6398	% PERDIDA
NUEZ.	1860,000	13.29	50,618	6.725	1.4258
ALM SECA.	92,000	0,657	90,700	0,596	% RECUPER
FINOS	758,000	5.414	10.85	0,587	79.377
ALM HUM.	731,000	5.22	93,690	4.906	
CASCA HUM.	360,000	2.257	8,800	0.199	
BALANCE FINAL.					
FIBRA.	1650,000	11.786	1,713	0,202	% PERDIDA
NUEZ.	1820,000	13	48,564	6,313	0,606
ALM SECA.	105,000	0.75	85,000	0,638	% RECUPER
FINOS	745,000	5.321	7.592	0,344	90.56
ALM HUM.	748,000	5.343	97,000	5,183	
CASCA HUM.	370,000	2.643	2,290	0.0605	
PLANTA E					
BALANCE INICIAL,					
FIBRA 1.	1189,000	13,211	10,651	1,407	% PERDIDA
FIBRA 2.	1645,000	13,708	10,840	1,486	1,685
FRIBR TOT	2835,000	13,500	10,757	1,452	% RECUPER
NUEZ 1	1207,000	13,411	52,568	7,050	82,850
NUEZ 2.	1480,600	12,338	54,954	6,780	
NUEZ ENTR	2687,350	12,797	53,887	6,896	
FINOS.	607,196	2,891	3,830	0,111	
CASC SECA	200,122	0,953	7,390	0,070	
CASC HUM	348,182	1,658	3,130	0,052	
ALM SECA	1553,423	7,397	94,210	6,969	
ALM HUM	261,588	1,246	94,130	1,173	
BALANCE FINAL.					
FIBRA 1.	1240,000	13,778	3,597	0,496	% PERDIDA
FIBRA 2.	1624,286	13,536	3,512	0,475	0,694
FRIBR TOT	2864,286	13,639	3,549	0,484	% RECUPER
NUEZ 1	1214,151	13,491	52,717	7,112	91.79
NUEZ 2.	1375,714	11,464	52,060	5,968	
NUEZ ENTR	2589,865	12,333	52,368	6,458	
FINOS.	595,330	2,835	3,800	0,108	
CASC SECA	153,984	0,733	7,400	0,054	
CASC HUM	317,189	1,510	3,200	0,048	
ALM SECA	1488,912	7,090	94,350	6,689	
ALM HUM	240,151	1,144	93,420	1,068	

PLANTA F,					
BALANCE INICIAL,					
FIBRA.	1986,000	14,186	5,049	0,716	% PERDIDA
NUEZ.	1817,000	12,979	53,587	6,955	1,011
ALM SECA.	931,000	6,650	90,700	6,032	% RECUPER
FINOS	786,000	5,614	4,487	0,252	86,180
ALM HUM.	41,000	0,293	93,690	0,274	
CASCA HUM.	68,000	0,486	8,800	0,043	
BALANCE FINAL.					
FIBRA.	1868,000	13,343	2,290	0,306	% PERDIDA
NUEZ.	1822,000	13,014	53,235	6,928	0,478
ALM SECA.	955,000	6,821	92,383	6,302	% RECUPER
FINOS	780,000	5,571	2,700	0,150	93,260
ALM HUM.	48,000	0,343	90,037	0,309	
CASCA HUM.	73,000	0,521	4,154	0,022	

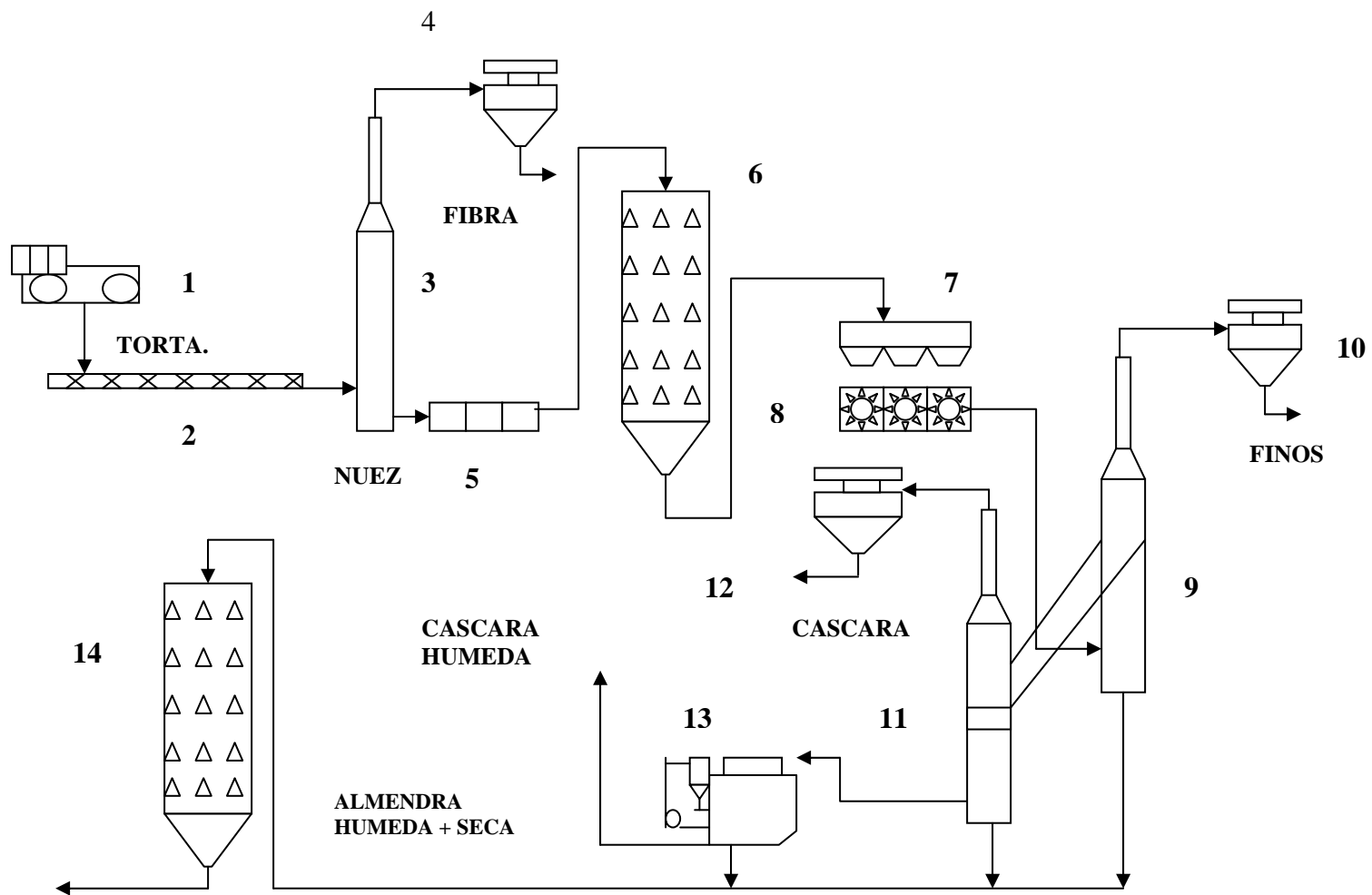


Figura 24. Diagrama de flujo del proceso de recuperación de almendra.

Anexo D. DIAGRAMA DEL PROCESO DE PALMISTERIA.

A continuación se nombraran cada una de las etapas y equipos del proceso de recuperación de almendra (figura 24).

1. Prensado de los frutos digestados.
2. Transportador de torta de prensas.
3. Columna de separación fibra – nuez.
4. Ciclón de fibra.
5. Tambor pulidor.
6. Silo de nuez.
7. Clasificador de nuez.
8. Ruptura d nuez.
9. Columna de separación de partículas finas.
10. Ciclón de partículas finas.
11. Columna de separación de cuesco.
12. Ciclón de cuesco seco.
13. Unidad de separación hidrociclón.
14. Silo de acondicionamiento de almendra.

Cuando el proceso cuenta con el hidrociclón como dispositivo alterno de separación, el proceso recibe el nombre de sistema combinado, de lo contrario, si el proceso solo cuenta con una o dos columnas de separación de almendra – cuesco, el proceso realizado es por vía seca.

Anexo E. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA NUEZ.

Tabla E. Propiedades físicas para tres tamaños de nuez diferentes con tres variaciones de humedad.

TIPO I.								
H1			H2			H3		
Kpa.	Vel, m/s	Porosidad	Kpa.	Vel, m/s	Porosidad	Kpa.	Vel, m/s	Porosidad
0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,50
0,36	2,15	0,57	0,35	2,12	0,55	0,36	2,00	0,50
0,46	3,03	0,57	0,40	2,42	0,58	0,43	2,27	0,55
0,55	5,09	0,62	0,49	2,73	0,63	0,49	3,66	0,54
0,58	6,59	0,60	0,54	4,62	0,66	0,54	4,75	0,67
0,60	8,77	0,55	0,57	7,41	0,61	0,59	7,35	0,63
0,64	11,07	0,62	0,62	10,46	0,63	0,64	10,62	0,61
0,66	12,08	0,64	0,66	13,14	0,65	0,66	12,99	0,69
0,67	13,70	0,59	0,68	15,55	0,60	0,69	16,51	0,59
0,68	16,67		0,68	19,89		0,70	20,75	
0,69	18,55		0,69	23,61		0,72	24,06	
TOPO II								
H1			H2			H3		
Kpa.	Vel, m/s	Porosidad	Kpa.	Vel, m/s	Porosidad	Kpa.	Vel, m/s	Porosidad
0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,57
0,36	2,10	0,57	0,35	2,29	0,57	0,35	2,11	0,58
0,45	2,31	0,65	0,44	2,73	0,64	0,45	2,82	0,60
0,49	4,10	0,62	0,48	4,05	0,62	0,50	3,67	0,62
0,54	6,07	0,71	0,51	5,05	0,67	0,51	4,87	0,66
0,60	8,33	0,68	0,56	6,89	0,68	0,54	6,57	0,70
0,61	9,51	0,64	0,60	8,73	0,69	0,58	8,63	0,70
0,63	11,86	0,71	0,62	10,70	0,68	0,60	10,81	0,64
0,64	14,09		0,63	12,14		0,62	12,87	
	16,81		0,64	15,20		0,64	15,55	
			0,64	17,17		0,64	19,78	
TIPO III								
H1			H2			H3		
Kpa.	Vel, m/s	Porosidad	Kpa.	Vel, m/s	Porosidad	Kpa.	Vel, m/s	Porosidad
0,00	0,00	0,62	0,00	0,00	0,59	0,00	0,00	0,59
0,38	2,03	0,62	0,37	2,17	0,59	0,38	2,27	0,59
0,47	2,28	0,69	0,45	2,36	0,66	0,43	2,65	0,66
0,51	3,14	0,66	0,49	3,27	0,64	0,45	3,38	0,64
0,47	3,86	0,69	0,47	4,22	0,65	0,46	4,28	0,66
0,50	5,17	0,72	0,49	5,32	0,71	0,47	5,48	0,70
0,53	6,05	0,69	0,52	6,11	0,70	0,49	6,02	0,69
0,57	7,27	0,75	0,55	7,29	0,69	0,53	7,59	0,68
0,60	9,02		0,58	8,92		0,55	8,59	
0,62	11,12		0,61	11,14		0,57	11,23	
0,63	12,63		0,61	13,21		0,58	13,34	
0,64	14,41		0,62	15,97		0,59	16,55	