

**IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA PARA EL MANEJO Y SEGUIMIENTO
DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN PLANTAS DE BENEFICIO DE LA
ZONA ORIENTAL**

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA CORPORACIÓN CENTRO DE
INVESTIGACIÓN EN PALMA DE ACEITE (CENIPALMA)**

JUAN CAMILO BARRERA HERNANDEZ

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA
2012**

**IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA PARA EL MANEJO Y SEGUIMIENTO
DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN PLANTAS DE BENEFICIO DE LA
ZONA ORIENTAL**

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA CORPORACIÓN CENTRO DE
INVESTIGACIÓN EN PALMA DE ACEITE (CENIPALMA)**

JUAN CAMILO BARRERA HERNANDEZ

**Informe técnico presentado como requisito
Para optar al título de: Ingeniero en Energía
Línea de investigación: Sostenibilidad**

Director

**Msc. Ing. LUIS EDUARDO JAIMES REATIGA
Universidad Autónoma de Bucaramanga**

Codirectores

**Ing. JOSE CARLOS MONTERO VEGA
Msc. Ing. JESÚS ALBERTO GARCÍA NÚÑEZ
Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite – Cenipalma.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA
2012**

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien desde el principio me dio la vida y la razón más importante para vivir.

A mi familia, quienes siempre creyeron en mí.

A la Unab, docentes, compañeros, y en especial aquellos amigos con los que compartimos momentos buenos y amargos.

A Cenipalma y el equipo de trabajo por la confianza y las experiencias que viví durante la práctica.

A la iglesia Centro Bíblico Internacional, en especial a esos amigos (son tantos que no los puedo mencionar a todos, pero ellos saben quienes son) en los que encontré apoyo, confianza y alegrías.

Por último, a todas aquellas personas que aportaron su grano de arena para formar la persona que hoy soy.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	12
2	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	14
3	OBJETIVOS.....	17
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	18
4.1	¿POR QUÉ LA PRÁCTICA?.....	19
4.2	¿POR QUÉ LA PRÁCTICA EN CENIPALMA?	19
4.3	¿CÓMO SE DESARROLLA LA PRACTICA EN CENIPALMA?.....	20
5	MARCO TEÓRICO	21
5.1	GENERALIDADES A NIVEL NACIONAL DE LA PALMA DE ACEITE	21
5.1.1	Distribución de las zonas de influencia de la palma de aceite.	21
5.1.2	Productos de la palma de aceite	25
5.1.3	Usos del aceite de palma	25
5.2	PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE PALMA.....	27
5.3	ÁREAS DE PRODUCCIÓN EN PLANTAS DE BENEFICIO	29
5.3.1	Recepción	29
5.3.2	Esterilización	29
5.3.3	Desfrutación	33
5.3.4	Digestión y prensado.....	33
5.3.5	Clarificación.....	36
5.3.6	Servicios industriales.....	39
5.4	MANTENIMIENTO EN PLANTAS DE BENEFICIO	42
5.4.1	Tipos de mantenimiento	43

5.4.2	Programas de mantenimiento preventivo y predictivo	46
5.5	SISTEMAS DE INFORMACION EN MANTENIMIENTO	46
5.6	INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	47
5.6.1	Disponibilidad de equipos	49
5.6.2	Confiabilidad	49
5.6.3	Costos de mantenimiento.....	50
6	DESARROLLO DEL PROYECTO	52
6.1	METODOLOGÍA	52
6.2	ESTANDARIZACIÓN.....	53
6.3	CENISIIC: SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN COMPUTARIZADA 54	
6.4	ESTRUCTURA DE CENISIIC.....	54
6.5	INDICADORES DE EFICIENCIA Y MANTENIMIENTO PARA CENISIIC	57
6.5.1	Eficiencia general de los equipos (OEE)	58
6.5.2	Tiempo medio entre falla (MTBF).....	59
6.5.3	Tiempo medio para reparar (MTTR).....	60
6.6	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	61
6.6.1	Recorrido; reconocimiento del proceso de extracción de la planta; presentación de metodología de mantenimiento y CeniSiiC.....	62
6.6.2	Capacitación de personal involucrado en la captura de información para la implementación del aplicativo CeniSiiC.	62
6.6.3	Levantamiento de equipos y codificación.....	63
6.6.4	Generación y seguimiento de órdenes de trabajo y bitácoras de producción.	64
6.6.5	Recopilación de información de costos	65
6.6.6	Ingreso de información en aplicativo CeniSiiC	65

6.6.7	Entrega de aplicativo a planta de beneficio.....	66
6.7	PLANTAS DE BENEFICIO IMPLEMENTADAS.....	66
7	RESULTADOS	69
7.1	INTERPRETACIÓN DE DATOS CONSOLIDADOS EN PLANTA DE BENEFICIO 1	69
7.2	INTERPRETACIÓN DE DATOS CONSOLIDADOS EN PLANTA DE BENEFICIO 2.....	73
7.3	INTERPRETACIÓN DE DATOS CONSOLIDADOS EN PLANTA DE BENEFICIO 3.....	76
7.4	INTERPRETACIÓN DE DATOS CONSOLIDADOS EN PLANTA DE BENEFICIO 4.....	80
8	RESUMEN DE LO APRENDIDO.....	84
	CONCLUSIONES	85
	BIBLIOGRAFIA.....	88
	ANEXOS.....	89

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS SEMBRADAS EN COLOMBIA POR ZONAS.	22
TABLA 2. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE ESTERILIZACIÓN.	31
TABLA 3. CONDICIONES DE OPERACIÓN EN PROCESO DE DIGESTIÓN.	34
TABLA 4. PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS PROCESO DE PENSADO.	35
TABLA 5. PRODUCTOS Y RESIDUOS EN PROCESO EN EL CLARIFICADOR.	37
TABLA 6. CONDICIONES DE OPERACIÓN SECADO DE ACEITE, RESIDUOS Y PRODUCTOS. (ESTIMADOS)	37
TABLA 7. CUADRO DE CARACTERÍSTICAS COMUNES DE LAS PB	68
TABLA 8. ANÁLISIS DE REPORTES PB 1	69
TABLA 9. ANÁLISIS DE REPORTES PB 2	73
TABLA 10. ANÁLISIS DE REPORTES PB 3	76
TABLA 11. ANÁLISIS DE REPORTES PB 4	80

LISTA DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN DE PALMA EN COLOMBIA.	24
ILUSTRACIÓN 2. ETAPAS Y PRODUCTOS EN LA CADENA PRODUCTIVA DE LA PALMA DE ACEITE.	26
ILUSTRACIÓN 3. PROCESAMIENTO DE LA PALMA DE ACEITE.....	28
ILUSTRACIÓN 4. DIAGRAMA PROCESO DE ESTERILIZACIÓN CONTINUA.	32
ILUSTRACIÓN 5. DIAGRAMA PROCESO DE CLARIFICACIÓN DINÁMICA.....	39
ILUSTRACIÓN 6. ESQUEMA CALDERA ACUOTUBULAR CONVENCIONAL DE UNA PLANTA DE BENEFICIO.	41
ILUSTRACIÓN 7. TIPOS DE INDICADORES	48
ILUSTRACIÓN 8. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA METODOLOGÍA A SEGUIR.	53
ILUSTRACIÓN 9. FORMACIÓN DE CENISIIIC	54
ILUSTRACIÓN 10. ESTRUCTURA FUNCIONAL DE CENISIIIC.....	55
ILUSTRACIÓN 11. -INTERPRETACIÓN DEL INDICADOR MTBF	60
ILUSTRACIÓN 12. INTERPRETACIÓN DEL INDICADOR MTTR	61

GLOSARIO

CMMS: acrónimo de Computerized Maintenance Management System.

CPO: acrónimo de Crude Palm Oil, en español, Aceite crudo de palma, ACP.

KPO: acrónimo de Kernel Palm Oil, en español, Aceite de palmiste.

KWh: unidad de medida de potencia eléctrica generada o consumida.

MTBF: acrónimo de Mid Time Between Failure, en español, Tiempo Medio Entre Fallas, TMEF.

MTTF: acrónimo de Mid Time to Failure, en español, Tiempo Medio para fallas, TMPF.

MTTR: acrónimo de Mid Time To Repair, en español, Tiempo Medio Para Reparar, TMPR.

OEE: acrónimo de Overall Equipment Effectiveness, en español, Eficiencia General de los Equipos.

PB: abreviatura de planta de beneficio, plantas industriales dedicadas al procesamiento y producción de aceite de palma.

RAC: abreviatura de recuperación de aceite

RAL: abreviatura de recuperación de almendra

RBD: abreviatura de (Refinado, Blanqueado y Desodorizado), termino usado para comercializar el aceite de palma.

RFF: abreviatura de Racimos de Frutos Frescos.

WCM: abreviatura de World Class Manufacturing, en español, Industria de Clase Mundial.

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACION DE METODOLOGIA PARA EL MANEJO Y SEGUIMIENTO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN LAS PLANTAS DE BENEFICO DE LA ZONA ORIENTAL – PRACTICA EMPRESARIAL EN LA CORPORACIÓN CENTRO DE INVESTIGACION EN PALMA DE ACEITE (CENIPALMA).

AUTOR: BARERA HERNANDEZ, JUAN CAMILO

PALABRAS CLAVES: Gestión del mantenimiento, Cenipalma, plantas de beneficio, CeniSiiC, aceite de palma en Colombia.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO: El siguiente documento consiste en la exposición de las actividades realizadas y resultados obtenidos durante la implementación de la gestión del mantenimiento, la cual consiste en actividades de capacitación hacia el personal de mantenimiento, apoyados por medio de un software basado en sistemas de información. El desarrollo del proyecto es liderado por la corporación centro de investigación en palma de aceite (Cenipalma), el sistema se integro en cuatro plantas de benéfico de la zona oriental de Colombia.

En este documento se puede encontrar una breve reseña acerca del proceso productivo de aceite de palma, las clases de mantenimiento en las plantas de beneficio en Colombia, sistemas de información basados en mantenimiento e indicadores de gestión de mantenimiento y producción. En cuanto al proyecto se explica la metodología usada en las plantas de beneficio, los esquemas y nomenclaturas estandarizadas, la herramienta computarizada (CeniSiiC), la cual permite obtener los resultados que al final del documento se muestran. También se realiza una descripción sobre las actividades realizadas en cada una de las plantas de beneficio, así como un breve resumen sobre el proceso industrial en cada una de ellas.

Al final se puede apreciar los informes generados por el aplicativo CeniSiiC, junto con un respectivo análisis de la información generada durante el periodo de implementación de la gestión del mantenimiento.

SUMARY

TITLE: IMPLEMENTATION OF METHODOLOGY FOR MANAGEMENT AND MONITORING OF MAINTENANCE MANAGEMENT IN PALM OIL MILL IN THE EASTER ZONE – PRACTICE IN THE CENTER FOR RESEARCH IN PALM OIL (CENIPALMA)

AUTHOR: BARERA HERNANDEZ, JUAN CAMILO

PALABRAS CLAVES: maintenance management, Cenipalma, palm oil mills, CeniSiiC, palm oil in Colombia.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO: The next document is the exposure of the activities and result achieved during the implementation of maintenance management, which involves training activities to maintenance personnel, supported by software-based information systems. The development of the project is led by the center for research in palm oil (Cenipalma), the system was integrated into four palm oil mills in the eastern zone in Colombia.

In this document can find a brief overview of the production process of palm oil, maintenance classes in palm oil mills in Colombia, information systems and indicators based maintenance management and indicators of maintenance and production. On draft explains the methodology used in palm oil mills, schemes and nomenclatures standardized, computerized toll (CeniSiiC) which allows for the result at the end of the document. Also has a description of the activities undertaken in each of the mills, as well as a brief summary of the industrial process in each.

Al final se puede apreciar los informes generados por el aplicativo CeniSiiC, junto con un respectivo análisis de la información generada durante el periodo de implementación de la gestión del mantenimiento.

At the end see the reports generated by the application CeniSiiC, along with a corresponding the implementation of maintenance management.

1 INTRODUCCIÓN

La participación del procesamiento del fruto en el costo total de la tonelada de aceite, según estimativos Fedepalma-Cenipalma, están alrededor del 16% equiparando el costo de la fertilización en campo, ubicándolos como aspectos donde se debe concentrar los esfuerzos para lograr incrementos en la competitividad del sector. Este último es el mayor reto del sector palmicultor frente a competidores internacionales, dados los actuales costos de producción, que superan en 25% los niveles mostrados por Malasia¹.

En los últimos ocho años, basados en un plan de acción elaborado por Cenipalma para las plantas de beneficio, se implementaron los balances de pérdida de aceite como una herramienta para controlar y optimizar los procesos de extracción de aceite. Una vez establecido los balances en las Zonas Central, Oriental y Norte se encontró que el promedio nacional de pérdidas en aceite es aproximadamente 2,2% aceite crudo/RFF² y la eficiencia del procesamiento en un rango de 85 - 90%. Para el año 2005 se logró las más bajas pérdidas de aceite, sin embargo aún existen muchas oportunidades de mejora y específicamente en el área de procesamiento.

En el año 2012 se propone un proyecto para administrar de manera eficaz la gestión de activos y mantenimiento en las plantas de beneficio en Colombia, todo con el fin de mejorar las prácticas de mantenimiento de manera que aumente la disponibilidad de las plantas, y por ende su eficiencia. El proyecto plantea básicamente estandarizar los indicadores de gestión de mantenimiento y mantener una trazabilidad de los mismos; realizando un seguimiento continuo a estos indicadores, se puede reducir los costos variables que actualmente tienen un peso del 30%. De

¹ Malasia es el máximo productor mundial de aceite de palma.

² Racimo Fruto Fresco

esta manera reduciendo este costo con el uso de planes proactivos de mantenimiento, se puede lograr altas eficiencias en las plantas de beneficio en Colombia.

La implementación del proyecto básicamente consiste en la recopilación de información base para conformar una base de datos que posteriormente será analizada por herramientas computacionales y obtendrá como resultado la generación de reportes consolidados de información. Este objetivo se ha derivado del objetivo nacional, el cual implica desarrollar estrategias para la reducción de costos de procesamiento y aumento del ingreso palmero, mediante el uso racional de recursos, el incremento de la confiabilidad y de las diferentes eficiencias en la planta de beneficio.

2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA ^[3]

Cenipalma es el Centro de Investigación en Palma de Aceite, creado por el gremio palmicultor colombiano en septiembre de 1990 e inició actividades en enero de 1991. Es catalogado como una corporación de carácter científico y técnico, sin ánimo de lucro, cuyo propósito es generar, adaptar y transferir tecnología en el cultivo de la palma de aceite, su procesamiento y consumo.

Su misión consiste en generar, adaptar y transferir soluciones tecnológicas, así como desarrollar nuevos procesos y productos de interés estratégico para la agroindustria de la palma de aceite colombiana, con liderazgo y enfoque prospectivo, de acuerdo con las demandas y necesidades de los palmicultores, para que el sector sea sostenible y competitivo internacionalmente.

Respecto a su visión, Cenipalma es un centro líder, de excelencia, con reconocimiento nacional e internacional, dedicado a la generación y transferencia de tecnología y al desarrollo de nuevos procesos y productos de interés estratégico para la sostenibilidad, la competitividad y el bienestar del sector palmero colombiano.

Cenipalma cree y actúa de acuerdo con los siguientes Valores Institucionales: ética, equidad, compromiso, respeto, actitud científica, trabajo en equipo, disposición al cambio y austeridad.

- Soluciones tecnológicas para la agroindustria de la palma de aceite, referenciadas internacionalmente, que propicien la sostenibilidad ecológica del cultivo y el mejoramiento del medio ambiente.
- Servicios tecnológicos especializados y estratégicos para el desarrollo de la agroindustria de la palma de aceite.
- Información y análisis de las variables tecnológicas que afectan el comportamiento del sector y los usos de sus productos.
- Representación e influencia del sector palmero ante instancias técnicas, científicas y académicas, públicas y privadas, nacionales e internacionales.

- Espacio permanente de reflexión, discusión y aprendizaje sobre temas técnicos y científicos, de interés para el sector.
- Referenciación competitiva y orientación tecnológica para el desarrollo y crecimiento del sector y apoyo permanente a la gestión gremial.
- Identificación, diseño y apoyo a la oferta de capacitación para atender las necesidades tecnológicas del sector.

La estructura de Cenipalma se divide en tres importantes programas: Biología, Agronomía y Procesos y Usos; dos divisiones: Servicios Técnicos Especializados, Transferencia de Resultados de Investigación y, un proyecto especial: Salud y Nutrición Humana (Fedepalma).

La práctica se desarrolló en el programa de procesos y usos, el cual desarrolla investigación en el proceso de extracción de aceite de palma, el aprovechamiento de los subproductos de la agroindustria y los demás procesos tecnológicos que contribuye a proporcionar un mayor valor agregado a los productos de la misma, Consta de tres áreas:

- Área de Plantas de Beneficio y Uso eficiente de Energía: Incrementar la eficiencia de los procesos de extracción de aceite y almendra, el uso eficiente de la energía, la evaluación de nuevos desarrollos tecnológicos y la referenciación de buenas prácticas en mantenimiento.
- Área de Uso de Subproductos: Investigar nuevas alternativas de ingreso para el sector palmicultor a través de la identificación de nuevos nichos de mercado, potencializando el aprovechamiento de los subproductos generados en Plantas de Beneficio.
- Área de Usos Alternativos del Aceite de Palma y Palmiste: Identificar alternativas tecnológicas para el desarrollo de la oleoquímica y concluir las investigaciones sobre el uso de biodiésel de aceite de palma.

Cenipalma cuenta con varias sedes ubicadas en las zonas de influencia de la palma de aceite; sin embargo, la sede principal se encuentra en Bogotá D.C. en la

Unidad de Servicios Compartidos (USC), en la calle 20ª N° 43ª-50 en los pisos 2 y 4. Adicionalmente, hay una sede en la Zona Oriental donde se ejecuta el proyecto descrito en este informe, se encuentra situada en Unipalma Finca Santa Bárbara, Cumaral, Meta.

El desarrollo del presente proyecto estuvo a cargo del estudiante en práctica Juan Camilo Barrera Hernández³, bajo la tutoría del Ing. Jose Carlos Montero Vega⁴, Asistente de Investigación del área de Ingeniería de Cenipalma⁵.

³ Correo electrónico: jbarrerahernandez@gmail.com, jcbarrera@cenipalma.org

⁴ Correo electrónico: jmontero@cenipalma.org

⁵ Para más información se puede ingresar a la página <http://www.cenipalma.org/>.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar conjuntamente la metodología propuesta por Cenipalma que incluye el modelo y el aplicativo computarizado para la gestión de información del mantenimiento y confiabilidad en plantas de beneficio de la Zona Oriental.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Socializar la metodología para estandarización de información.
- Recopilar los datos iniciales para realizar la alimentación inicial del aplicativo.
- Analizar la información generada por CeniSiiC.
- Presentar el modelo de trazabilidad de indicadores para procesamiento y mantenimiento.
- Presentar los diversos modelos de informes generados desde CeniSiiC.
- Establecer el mecanismo para retroalimentación de información desde la planta de beneficio hacia Cenipalma/Fedepalma.

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El dinamismo de los mercados y su continuo crecimiento en los diferentes sectores industriales, ejercen presión sobre las empresas para que cada día éstas sean más competitivas. En procura ser más eficientes día a día, una de las áreas internas de la industria en la que más se desarrollan programas con el fin de mejorar la competitividad de la empresa, es el área de mantenimiento, usando estrategias como la innovación con nuevas tecnologías o sistemas metódicos que mejoren las prácticas de mantenimiento. En el ámbito Colombiano y más exactamente en la agroindustria del aceite de palma esta tendencia no es desconocida. Sin embargo, el sector se ha dedicado a atacar aquellos inconvenientes que de cierta forma son palpables a simple vista, ignorando una serie de problemas en cuanto a la gestión eficaz del mantenimiento.

Cuando se habla de productividad, directamente se involucra el tema de costos y es aquí cuando la problemática se torna más complicada, en la etapa de extracción de aceite de palma los costos fijos y variables se distribuyen aproximadamente entre un 50% para cada uno de ellos⁶. En el caso de los costos variables, el segundo rubro con mayor participación después del costo de mano de obra, es el costo de mantenimiento, el cual representa entre el 32% y el 35% de los costos de procesamiento de fruto de palma en la planta de beneficio. Estos costos son producto de los materiales consumibles durante las intervenciones de mantenimiento junto con las contrataciones de mano de obra externa para realizar las labores de mantenimiento, adicionalmente existen unos costos ocultos que si bien no son costeados directamente por la planta de beneficio, realizando un control riguroso sobre estas variables sin duda alguna, mejoraría la calidad del producto final en términos de efectividad de la planta; estos costos hacen referencia a los tiempos operativos e inactivos de la planta.

⁶ Estudio realizado por Duarte Gutterman & Cía. Ltda., (2008).

Las estrategias, programas y planes de mantenimiento existentes en cada una de las plantas de beneficio difieren uno del otro, en parte a su estructura y enfoque, pero principalmente, en los criterios de evaluación y medición de su eficacia generando con ello, variaciones a la hora de calcular el costo de mantenimiento por procesamiento de fruto. Cenipalma a través de sus comités de plantas de beneficio y de mantenimiento han desarrollado un proyecto que permite analizar y comparar los costos y modelos de administración en la fase productiva con el fin de realizar un diagnóstico específico sobre el área del mantenimiento en cada una de las plantas, de manera que permitirá estandarizar e implementar indicadores de evaluación con base a criterios de mantenimiento de clase mundial.

Este diagnóstico se realiza por medio de una herramienta computarizada el cual evalúa sistemas de información para la administración del mantenimiento, análisis de fallas y criticidad, análisis de costos y efectividad de la planta. Este diagnóstico tiene el propósito de ser una herramienta para poder tomar decisiones efectivas y acertadas, buscando la optimización de los procesos productivos y del mantenimiento industrial, estableciendo políticas de producción y de mantenimiento enfocadas a la productividad eficiente.

4.1 ¿POR QUÉ LA PRÁCTICA?

Se decidió realizar la práctica empresarial, con el propósito de acoplarse de la mejor forma con el mundo laboral, la intención de la práctica es conocer los diversos procesos industriales, estar al tanto de las actividades realizadas para el sostenimiento de una empresa, además de adquirir conocimientos y experiencias de profesionales con largas trayectorias desempeñando sus cargos en diferentes áreas de las plantas.

4.2 ¿POR QUÉ LA PRÁCTICA EN CENIPALMA?

Cenipalma es un grupo de investigación catalogado Grupo de Excelencia Categoría A1 en Colciencias, siendo ésta la máxima categoría. Por lo tanto, Cenipalma cuenta con un equipo de profesionales altamente calificados dedicados a la investigación intensiva del mejoramiento de las áreas comunes que envuelven el gre-

mio palmero. Los programas de biología, agronomía y procesos son del ámbito interdisciplinario, de esta forma se aprende de las diferentes etapas y tecnologías aplicadas del fruto de la palma desde la germinación de la semilla hasta el procesado para la obtención final del aceite.

Cenipalma es un empresa que brinda servicios a todo el gremio palmero vinculado con la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (FEDEPALMA), por ende tiene cubrimiento sobre toda el área de influencia del cultivo de palma de aceite.

Actualmente el área de procesamiento se encuentra desarrollando diferentes proyectos en el ámbito de mantenimiento y energía, dentro de los objetivos principales de estos proyectos y el área de procesamiento en general, es darle un mayor valor agregado al producto final, de manera que los resultados obtenidos de las investigaciones tendrán un efecto positivo en la agroindustria palmera siendo ésta una de las más importantes en Colombia.

4.3 ¿CÓMO SE DESARROLLA LA PRACTICA EN CENIPALMA?

El trabajo desarrollado en Cenipalma se desarrolla en diferentes plantas extractoras a lo largo de la Zona Oriental, se realizan visitas en las plantas las cuales tienen una duración aproximada de un mes, o el tiempo requerido para implementar la metodología, una vez terminada la implementación, se procede a realizar la visita a otra planta.

En la planta extractora se realizan las actividades pertinentes al proyecto, dentro de las cuales se tiene la asesoría tanto del director del proyecto de Cenipalma como del director de la planta extractora donde se implementa el proyecto, toda la información o requerimientos necesarios son proporcionados por la planta. Finalmente se entrega un informe junto con los reportes obtenidos por la herramienta computarizada, adicionalmente se lleva una bitácora donde queda constancia del seguimiento que realizan las plantas que han implementado la herramienta.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 GENERALIDADES A NIVEL NACIONAL DE LA PALMA DE ACEITE ^[6]

Hoy por hoy la agroindustria de la palma de aceite, es uno de los mercados más influyentes de la economía colombiana. La razón por la cual la palma de aceite hoy está en su posición, es el resultado de una continua evolución en el desarrollo de procesos de producción tanto desde la parte agrícola, como del componente industrial.

Lo que hace a la palma de aceite un cultivo especial, es su rendimiento⁷ continuo dentro del grupo de las semillas oleaginosas (Soya, Girasol, Ajonjolí, etc.). La palma de aceite fue introducida al continente americano en el siglo XV por medio del mercado de esclavos provenientes de África, los cuales se alimentaban del fruto de la palma debido a su gran riqueza nutritiva y a su alto contenido de carotenos. De allí surge su nombre científico que se deriva del vocablo griego “Elaeis”, el cual significa aceite, y la palabra “guineensis” que se atribuye a su origen específico, la costa de Nueva Guinea.

Actualmente Colombia ocupa la quinta posición en producción mundial de aceite de palma, detrás de Malasia, Indonesia, Tailandia y Nigeria, lo cual lo hace el primer producto Latinoamericano.

5.1.1 Distribución de las zonas de influencia de la palma de aceite.

Según el anuario estadístico, año 2011, para el año 2010 Colombia contaba con un área sembrada de 404.104 hectáreas, de las cuales 250.663 se encuentran en producción y 153.411 en etapa de desarrollo. Los cultivos de palma de aceite se encuentran distribuidos en cuatro zonas del país ubicados en 104 municipios de 21 departamentos del país.

⁷ El rendimiento promedio del cultivo en Colombia es de 3,9 toneladas aceite por hectárea superando a los del Ajonjolí (0,6 t/ha) y la soya (2,078 t/ha).

Tabla 1. Distribución de áreas sembradas en Colombia por zonas.

Área	Oriental		Norte		Central		Sur-Occidental		Total	
	ha	Dist. (%)	ha	Dist. (%)	ha	Dist. (%)	ha	Dist. (%)	ha	Dist. (%)
Sembrada	158,026	39.11%	114986	28.45%	112986	27.96%	18105	4.48%	404,103	100%
En producción	90,521	36.13%	87265	34.83%	67822	27.07%	4954	1.98%	250,562	100%
En desarrollo	67,505	43.99%	27621	18.00%	45164	29.43%	13151	8.57%	153,441	100%

La Zona Oriental es la zona productora más grande con 158.026 hectáreas sembradas para el 2010, las cuales representan el 39,11% de la producción total nacional. La Zona Oriental está conformada por los departamentos del Meta, Casanare y Cundinamarca, siendo el Meta el departamento con mayor participación. Dentro de esta zona operan cerca de 22 plantas de beneficio, ubicadas en los departamentos del Casanare (Tauramena y Villanueva) y Meta (Acacías, Barranca de Upía, Cabuyaro, Castilla la Nueva, Cumaral, Puerto Gaitán, San Carlos de Guaroa y San Martín).

La Zona Norte, es la segunda zona productora con un área de 114.498 hectáreas, representando el 28,45% del área sembrada en el país. La Zona Norte está conformada por los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Cesar, Chocó, Córdoba, Guajira, Magdalena y Sucre. En la Zona Norte operan 13 plantas de beneficio ubicadas en los departamentos de Bolívar (María La Baja), Cesar (Agustín Codazzi, Bosconia, El Copey, El Paso) y Magdalena (Aracataca, Ciénaga, El Retén, Zona Bananera).

La Zona Central es la tercera zona de producción palmífera, con una contribución muy cercana a la de la Zona Norte, su participación es del 27,96% del área sembrada a nivel nacional, La Zona Central está compuesta por los departamentos de Antioquia, Cesar, Cundinamarca, Norte de Santander y Santander. En la zona

operan 10 plantas de beneficio ubicadas en los departamentos de Cesar (Aguachica, San Alberto y San Martín), en Norte de Santander (El Zulia) y en Santander (Puerto Wilches, Sabana de Torres).

Por última, está la Zona Sur-Occidental con una participación del 4,48% del área total nacional, constituida por los departamentos de Caquetá, Cauca y Nariño; donde operan 8 plantas de beneficio en Caquetá (Belén de las Andaquíes) y en Nariño (San Andrés de Tumaco). En la ilustración a continuación se puede apreciar la ubicación de las zonas en el territorio nacional.

Ilustración 1. Ubicación geográfica de las zonas de producción de palma en Colombia.



5.1.2 Productos de la palma de aceite

En un periodo productivo de palma de aceite, se empieza la cosecha de racimos de fruto fresco una vez hayan alcanzado el punto de madurez óptimo para ser procesado, se debe tener en cuenta que en un fruto muy verde su contenido de aceite es poco o nulo y un racimo sobre-maduro afecta la calidad del aceite. Estos racimos son cortados y despachados a plantas de beneficio donde por medio de diferentes procesos, se extrae aproximadamente el 22% del peso de cada racimo de aceite de palma crudo y un 5% en almendra de Palmiste.

Los principales productos del aceite son el aceite de palma refinado RDB, la estearina y la oleína RDB (Refinada, Desodorizada, Blanqueada), los cuales son obtenidos por procesos de refinación y fraccionamiento. La oleína de palma es la fracción líquida que posee características diferentes de la del aceite de palma y que se homogeniza fácilmente con otros tipos de aceite. La estearina es la fracción sólida del aceite de palma refinado, la cual se utiliza entre muchos mercados, principalmente en la industria alimenticia como componente de grasas duras enteramente de origen vegetal.

La almendra de palmiste, se obtiene del proceso industrial, es utilizada en la obtención de aceite de palmiste y torta o harina de palmiste.

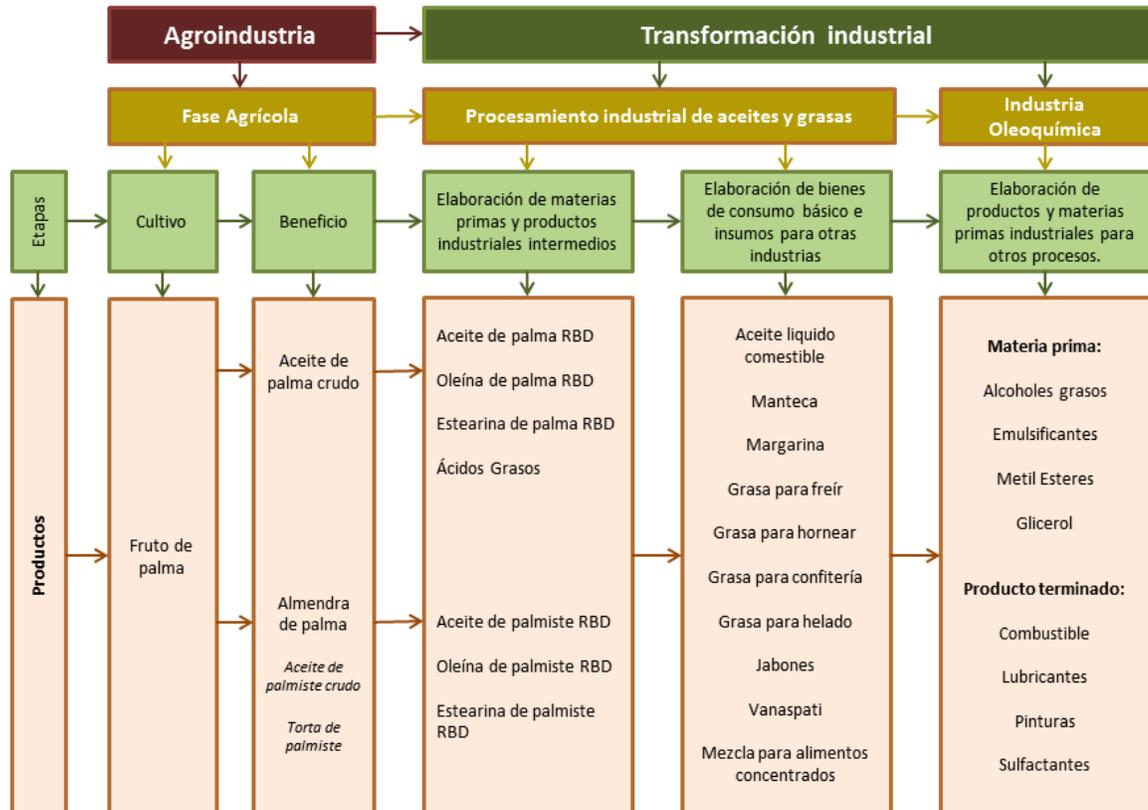
5.1.3 Usos del aceite de palma

Muchos productos del aceite de palma se encuentran fácilmente en nuestro entorno, simplemente con ir a un supermercado se puede encontrar fácilmente productos de la industria alimenticia que contienen este aceite (cereales, papas fritas, dulces, margarina), y también se puede encontrar en productos de aseo como jabones y/o cosméticos.

En la ilustración 2, se muestra en un esquema la cantidad de usos para el aceite de palma, dentro de los más notorios hoy en día; dentro del procesamiento de la oleo química el producto más destacado sin duda alguna es la obtención de biodiésel, el cual hoy por hoy se ha convertido en un negocio rentable y que cada vez

su demanda aumenta debido al impulso impuesto por las nuevas legislaciones ambientales. Dentro las ventajas del biodiésel cabe destacar sus beneficios ambientales y el mejoramiento del rendimiento de los vehículos.

Ilustración 2. Etapas y productos en la cadena productiva de la palma de aceite.



5.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE PALMA ^[5]

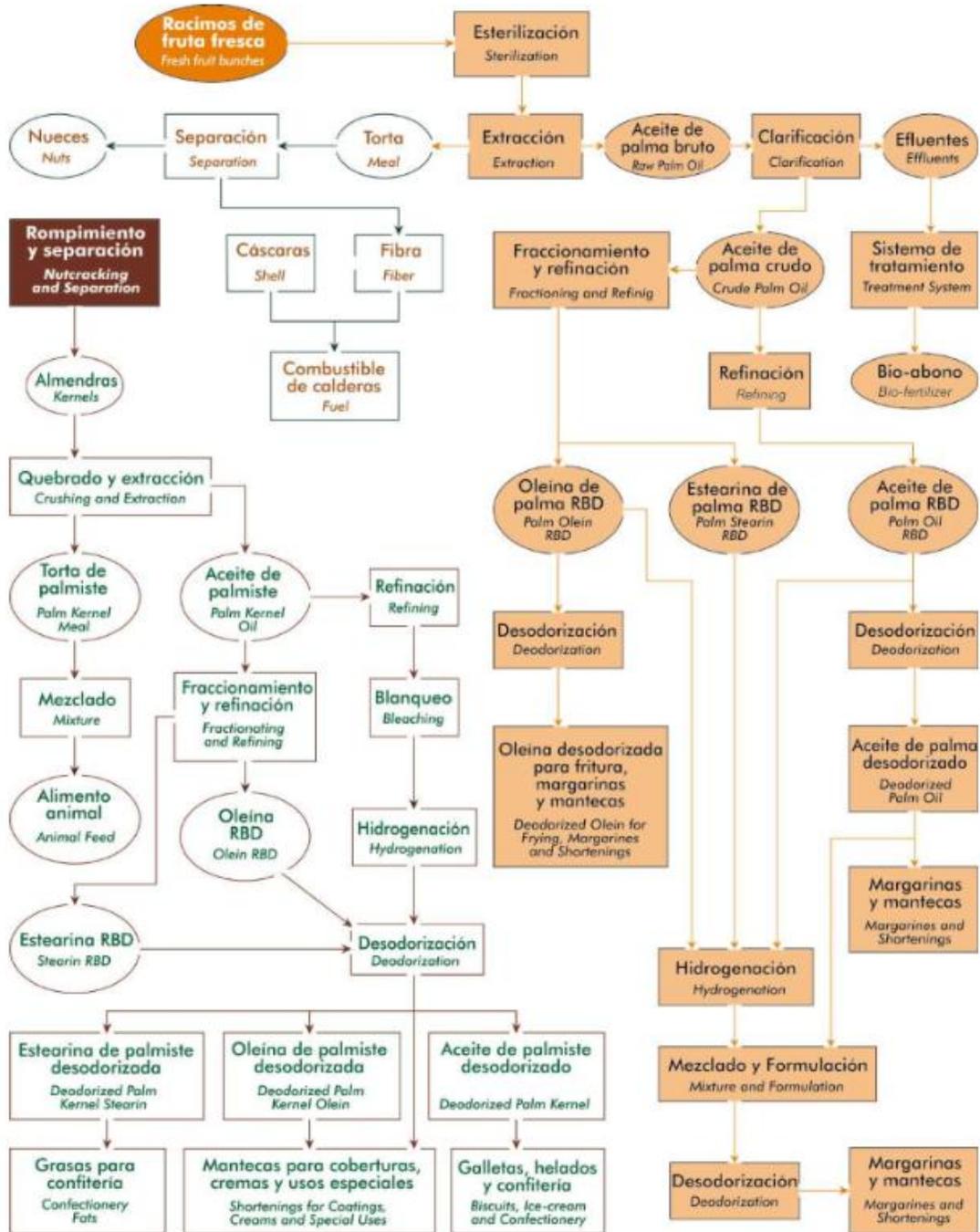
En toda clase de proceso dedicado a la extracción de aceite, existen cuatro pasos principales que se deben cumplir:

1. Separación de los frutos individuales del racimo
2. Ablandamiento de la pulpa de la fruta
3. Extracción del líquido aceitoso
4. Purificación del aceite.

En la ilustración 3, se muestra un esquema del procesamiento de la palma de aceite, entre los pasos mas destacados están los siguientes,

- Cosecha en la madurez optima
- Transporte del RFF a una planta de aceite
- Transferencia del RFF a las canastas de esterilización
- Esterilización del RFF con vapor bajo presión
- Transferencia del RFF cocinado a un desfrutado
- Transferencia de la fruta a un digestor
- Prensado en una prensa monotonillo o de doble tornillo
- La descarga aceitosa de la prensa, contenido de agua y residuos de fruta, se pasa a través de tamices y de tanques clarificadores
- La fase del aceite de los tanques clarificadores se pasa a una centrífuga clarificadora. El lodo, o la fase pesada, de los tanques clarificadores se centrifuga y el aceite recuperado se retorna a los tanques clarificadores.

Ilustración 3. Procesamiento de la palma de aceite.



5.3 ÁREAS DE PRODUCCIÓN EN PLANTAS DE BENEFICIO ^[5]

Para este estudio se tendrá en cuenta únicamente lo que le compete a una planta de beneficio de la Zona Oriental de Colombia. Dentro de los procesos dinámicos de una planta de beneficio se han identificado 9 áreas comunes, las cuales son:

- Recepción
- Esterilización
- Desfrutado
- Digestión y prensado
- Clarificación
- Recuperación de aceite
- Recuperación de almendra
- Servicios industriales (agua, vapor y energía eléctrica)

5.3.1 Recepción

Una vez cortados los racimos de fruto fresco (RFF), deben ser procesados en el menor tiempo posible, esto se debe a que una enzima característica del fruto de aceite de palma llamada lipasa es una proteína muy activa que tiende a acelerar la generación de Ácidos Grasos Libres (AGL), el tiempo óptimo para procesar el fruto no debe ser mayor a 72 horas, pues la acidez del fruto en este punto afecta directamente la calidad del producto final. Para evitar lo anterior, generalmente se procesa el fruto en lapsos de tiempo inferiores a 24 horas.

La fruta es pesada en básculas camioneras, en la mayoría de las plantas estas básculas cuentan con celdas de carga para censar el peso; sin embargo en algunas plantas se conserva las balanzas para calcular el peso.

5.3.2 Esterilización

La esterilización es el proceso en el que se cocina la fruta, dentro los propósitos de la esterilización se encuentran tres puntos importantes y un punto adicional, los cuales son:

1. Inactivar la lipasa causante del desdoblamiento del aceite y en consecuencia el aumento de ácidos grasos libres.
2. Permite ablandar el mesocarpio que es la parte carnosa del fruto de palma la cual contiene el aceite de la palma, de esta manera ayuda a desprender el fruto adherido al racimo.
3. Calentar y deshidratar parcialmente la nuez y la almendra, facilitando el desprendimiento de la almendra del cuesco, el cual es la capa que protege a la nuez.
4. Coagula las proteínas que se encuentran en el aceite, evitando la formación de soluciones coloidales en el aceite crudo, dificultando así el proceso de clarificación.

Existen dos clase de esterilización, la convencional y la continua. El proceso convencional de esterilización consiste en aplicar vapor de agua en recipientes cilíndricos llamados autoclaves, cuyo tamaño varía dependiendo de la capacidad de la planta. Las variables de control del proceso de esterilización es el tiempo de cocción y la temperatura, pues estas variables cambian de acuerdo a las condiciones de la fruta, ya sea por el tamaño de los racimos o por el grado de madurez de la fruta.

Dentro de los cilindros o autoclaves se introducen los vagones cargados de fruta, el tamaño de los vagones oscila entre los 500 kilogramos hasta las 5 toneladas, una vez esterilizada la fruta, se despresurizan las autoclaves, y se procede a retirar los vagones; el descargue de estos se realiza por medio de volteadores de canastas o puente grúas, para retirar un bache de una autoclave se utilizan equipos como cabrestantes o tractores. Un bache en autoclave varía dependiendo de la capacidad de la planta, existen autoclaves con capacidad de esterilizar de 10 a 30 toneladas de RFF por hora, introduciendo de 6 a 9 vagones cargados con RFF.

En la siguiente tabla se encuentran las condiciones generales del proceso de esterilización, pero no son iguales para todas las plantas de beneficio, pues como se

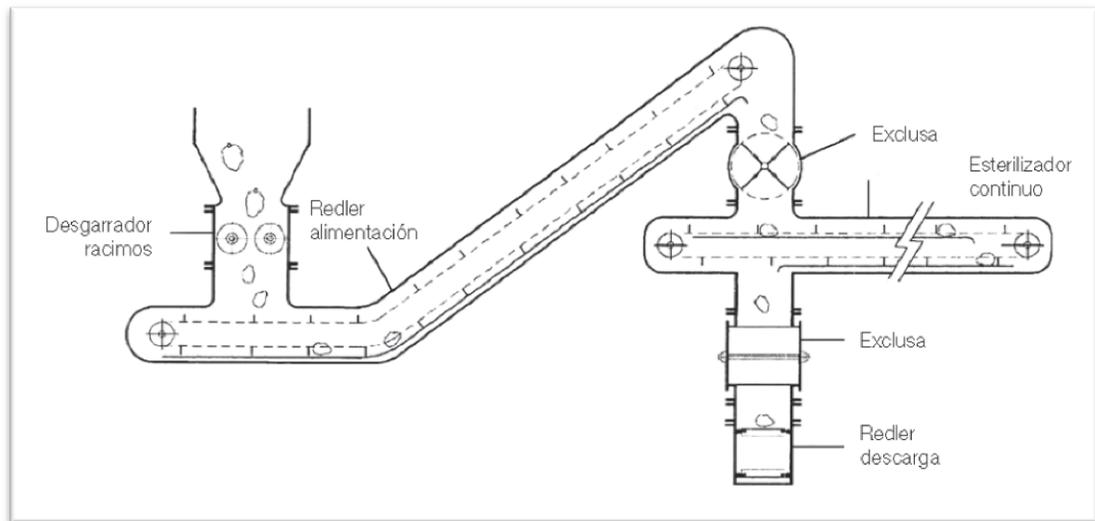
ha repetido anteriormente, este proceso depende de las condiciones del fruto al ingreso de la planta.

Tabla 2. Condiciones de operación del proceso de esterilización.

Temperatura	20 – 130 C
Presión	2 – 3 bar
Tiempo total esterilización por bache	Cerca de 2 horas
Tiempo de sostenimiento	45 a 60 minutos
Consumo total de vapor	250kg/t RFF
Pérdida de vapor a la atmósfera	50kg /t RFF
Condensados	Cerca de 200kg/t RFF
Pérdidas de aceite	Cerca de 0.5kg/t RFF

El sistema de esterilización continua difiere al sistema convencional en el manejo de los cambios de presión del vapor de agua, ya que la presión para el caso continuo se aplica a presión atmosférica, de esta manera se mejora la separación de frutos. Este tipo de sistema no afecta la calidad del aceite pero puede afectar las pérdidas aunque no de una manera muy significativa. En el siguiente esquema se puede apreciar el sistema de esterilización continua.

Ilustración 4. Diagrama proceso de esterilización continua.



Fuente: *Sivasothy et al, 2004*

Los pasos primordiales para el proceso de esterilización continua son:

- El acondicionamiento del RFF, haciéndolos pasar por un desgranador de fruta o picadora, de esta manera el vapor penetra de manera más uniforme en el racimo.
- Se precalientan los RFF a 60°C en el transportador de alimentación, para ingresar a la cámara de esterilización, el precalentamiento ayuda a la desaireación del racimo minimizando la cantidad de aire que ingresa al esterilizador continuo
- Se calienta progresivamente el fruto a través de la cámara de esterilización, inyectando vapor vivo por medio de unas boquillas ubicadas en puntos es-

tratégicos para la aplicación uniforme de calor. El esterilizador continuo está debidamente enchaquetado con el fin de prevenir las pérdidas de calor/

- Dentro de la cámara de ubicación, existen unos drenajes donde se evacuan de manera segura los condensados generados en el proceso.
- El fruto que alimenta el esterilizador se controla por medio de una exclusiva, la cual dosifica la fruta de manera que los baches sean similares entre ellos, evitando así picos que congestionen la cadena productiva.
- Una vez esterilizado el fruto, los racimos son enviados a tambores desfrutadores convencionales, para separar el fruto del raquis (racimo).

5.3.3 Desfrutación

En la esterilización convencional las vagonetas cargadas de los RFF, son descargadas en tambores rotatorios o mesas de volteo, el fruto cocido cae en una tolva que hace parte del set del redler alimentador del tambor desfrutador. Para el caso de plantas que usan puentes grúas el concepto es el mismo, la fruta cocida cae en una tolva pero ésta alimenta directamente el tambor desfrutador. En la esterilización continua, el fruto esterilizado es introducido automáticamente al tambor desfrutador, generalmente se usa el transportador tipo cadena o redler.

El funcionamiento del desfrutado es muy sencillo, es un tambor que gira alrededor de un eje central, los movimientos de los racimos dentro del tambor hacen que el fruto se desprenda y caiga entre las rejillas del tambor, el fruto cae por un canal donde se encuentra un sinfín que lleva el fruto a la próxima etapa, los racimos de fruto vacíos, también llamados tusas o raquis, salen por la parte posterior del tambor. Éstas se recolectan y se transportan por cintas para cargarlas en remolques, los racimos se usan como fertilizante orgánico, ya sea para compostaje o como elemento retenedor de humedad.

5.3.4 Digestión y prensado

El fruto proveniente del tambor desfrutador es enviado a los digestores. Un digestor es un recipiente vertical con chaqueta de vapor, en cuyo interior hay unas ale-

tas que maceran el fruto para convertirlo en una especie de pasta o masa aceitosa; durante el proceso de maceración se agrega agua para homogenizar la mezcla. Dicha pasta alimentan las prensas. Las condiciones del proceso son las siguientes:

Tabla 3. Condiciones de operación en proceso de digestión.

Consumo de vapor	40-50 kg/t RFF
Consumo de agua caliente	65 kg/t RFF
Vapor de agua:	30 kg/t RFF
Residuos sólidos/líquidos	Ninguno

La extracción de aceite de palma se realiza por medio de prensas de tornillos. La prensa puede ser de un solo tornillo (en el caso de las de pequeña capacidad), o pueden ser de doble tornillo. La fase aceitosa liberada en el prensado es descargada en canales los cuales conducen el líquido (licor de prensas) a la etapa de clarificación, mientras que la torta o pasta seca cae a un sistema de recolección. La composición de la torta es la fibra del mesocarpio de la fruta junto con la nuez, esta torta se seca a través de un sinfín secador el cual rompe la torta para que no se aglomere por las trazas de agua residentes en la fibra; el sinfín se encuentra enchaquetado con vapor de manera que a medida que la torta llega al final de tramo, la fibra ya se encuentra seca por efecto del calor del vapor.

Los productos y residuos del proceso de prensado son los siguientes:

Tabla 4. Productos y subproductos proceso de prensado.

Aceite crudo primario (mezcla de aceite, agua y fibras):	400 kg/t RFF
Contenido aceite:	200 kg/t RFF
Contenido lodos pesados:	200 kg/t RFF
Residuos sólidos totales (mezcla de fibras o nueces):	320 kg/t RFF
Almendras (incluye 30kg/ton RFF)	60 kg/t RFF
Cáscaras:	60 kg/t RFF
Fibras:	145 kg/t RFF
Humedad perdida durante la separación de fibras:	55 kg/t RFF
Residuos sólidos/líquidos:	Ninguno

Por medio de un sistema neumático la fibra es separada de la nuez, de manera que la fibra es lanzada por la parte superior, mientras que la nuez cae para ser recuperada en la parte inferior donde se pule y se completa su secado en silos donde circula aire caliente a una temperatura aproximada de 135°C. La almendra se recupera en rompedoras centrifugas y/o rippler mil. Éste último es un sistema de rodillos que ejerce una presión sobre la nuez para romperla y así obtener la almendra junto con el cuesco.

Posteriormente, el cuesco y la almendra son separados por hidrociclones, donde por densidad de masas el cuesco flota en tanques de agua y la almendra sale por la parte inferior del tanque para luego ser recolectada y enviada a silos donde nuevamente es secada por medio de radiadores que calientan aire para secar la

almendra. Esta almendra generalmente es vendida a plantas extractoras de aceite de palmiste. Por otro lado, el cuesco recolectado es secado en patios y almacenado para ser usado como combustible para la caldera, en otros casos se venden como alimento para animales o como estabilizante en las vías de acceso a las plantas de beneficio mezclado con algún tipo de aglomerante.

5.3.5 Clarificación

El proceso de clarificación consiste en la obtención de aceite de palma crudo en bruto, para su preparación primero se debe filtrar toda traza de elementos sólidos en el licor de prensas; para ello, la fase aceitosa es mezclada con agua caliente y pasada por un tamiz para retener fibras, mugre y/o rastros de nueces o pericarpios de la fruta. En este proceso puede permanecer aún algún residuo sólido, que posteriormente son retirados en el tanque clarificador.

5.3.5.1 Clarificación estática

La clarificación estática es el método más común usado dentro de las plantas de beneficio, el proceso consiste en una separación de fases por medio de densidades y gravedad. El licor de prensa una vez tamizado, es enviado a los tanque clarificadores donde es calentado ya sea directamente con agua caliente o indirectamente por medio de serpentines en el clarificador; al cabo de un tiempo de proceso (de 4 a 6 horas) en el clarificador se forman tres capas visibles, la capa superior es aceite de palma crudo con un porcentaje bajo de humedad, el cual es removido por embudos y se envía a un sistema de purificación en el que el aceite es secado por secadores al vacío.

La fase intermedia está compuesta por agua, aceite y materia orgánica (lodos) y la fase inferior, primordialmente por lodos pesados. La descarga de lodos se hace en un tanque pulmón de lodos para luego ser centrifugados con el propósito de recuperar el aceite. Los lodos son tamizados antes de ingresar al tanque pulmón, ya que los residuos sólidos en el lodo atascan fácilmente las boquillas de la centrifuga.

Tabla 5. Productos y residuos en proceso en el clarificador.

Consumo de agua caliente	220 kg/t RFF
Aceite crudo primario	120 kg/t RFF
Residuos líquidos acuosos	500 kg/t RFF
Temperatura del proceso	≥ 95°C
Tiempo de retención	1 a 5 horas

El aceite recuperado se junta con el aceite del clarificador (parte superior), para ser enviado a almacenamiento, siempre y cuando la humedad del aceite sea la más mínima. En caso de exceso de agua, ésta se remueve por evaporación al vacío, aproximadamente se producen 163 kg de aceite por tonelada de RFF procesada.

Las condiciones de operación para el secado del aceite y entrega final de aceite son las siguientes:

Tabla 6. Condiciones de operación secado de aceite, residuos y productos. (Estimados)

Consumo de vapor (vacío indirecto)	Cerca de 10 kg/t RFF
Consumo de agua de enfriamiento	300 kg/t RFF
Aceite crudo puro	115 g/t RFF
Temperatura del proceso	95°C

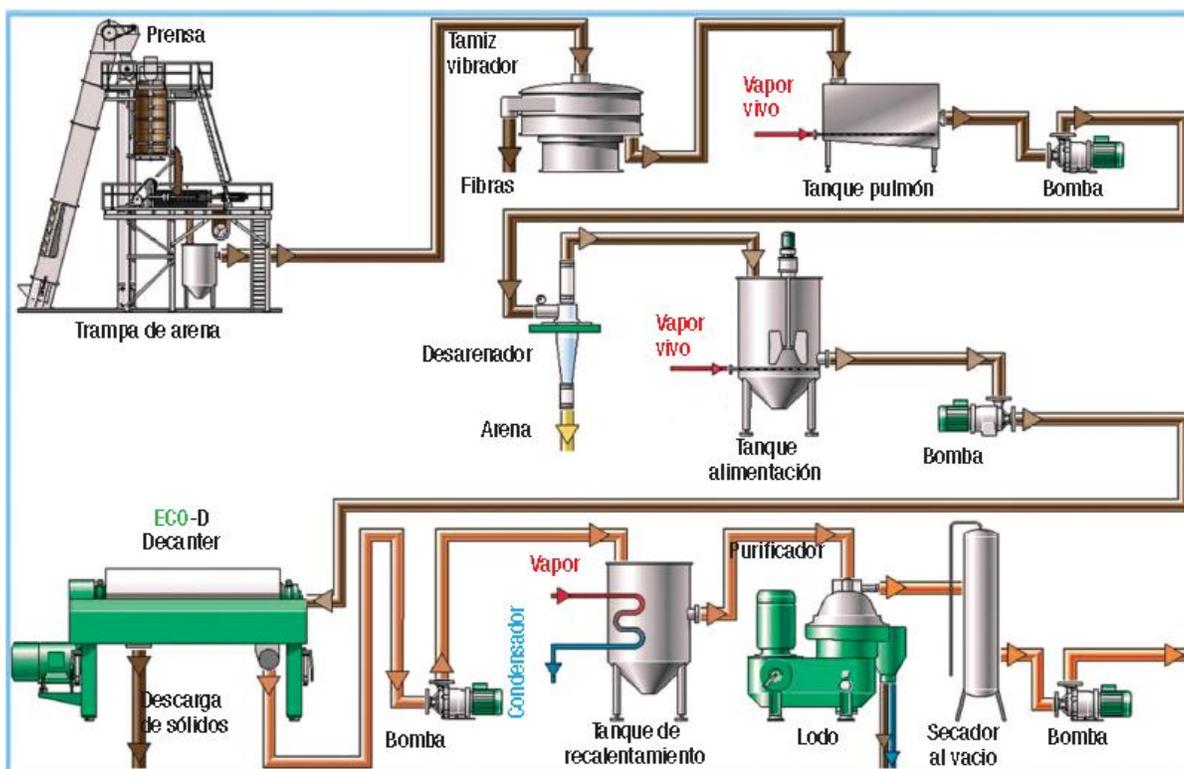
Temperatura final del aceite	40°C
Agua de enfriamiento (efluentes)	300 kg/t RFF
Temperatura agua de enfriamiento	80°C
Vapor (del secado):	10 kg/t RFF

5.3.5.2 Clarificación Dinámica

La clarificación dinámica tiene como ventaja tener menor tiempo de residencia del licor de prensa en el sistema y por lo tanto, menor tiempo de proceso. El licor de prensa que proviene ya sea de un tamiz circular o un pre-clarificador es calentado, desarenado y enviado a un tanque pulmón de lodos; la mezcla lodosa es enviada luego a un *decanter* para separar la mezcla en dos fases o a un *tridecanter* para separarla en tres fases.

La fase aceitosa es secada y luego almacenada para su despacho, los lodos son enviados directamente a las piscinas de oxidación. En el caso del tridecanter, la fase lodosa sólida se usa como compostaje o alimentación de animales. En la siguiente figura se muestra el proceso de clarificación dinámica.

Ilustración 5. Diagrama proceso de clarificación dinámica.



Fuentes: MPOB, Malaysia Palm Oil Board

5.3.6 Servicios industriales

Los servicios industriales en las plantas de beneficio juegan un papel muy importante a la hora de producir aceite de palma. Estos cubren los requerimientos mínimos para el trabajo efectivo de una máquina, siendo los necesarios para operar: agua, vapor y electricidad.

5.3.6.1 Captación y tratamiento de aguas

Un sistema de agua de alimentación es un conjunto de tuberías y accesorios distribuidos por la planta de beneficio. Generalmente está conectado a tanques contenedores que distribuyen el agua dependiendo de la necesidad del área que la requiera. Principalmente el agua es usada en las calderas para generar el vapor que posteriormente es distribuido.

En algunas plantas el agua de reposición es mezclada con condensados recuperados a lo largo del proceso, sin embargo dada la procedencia del agua (de pequeños pozos, yacimientos de agua y/o ríos o quebradas), ésta debe ser tratada para luego ser usada dentro de la planta especialmente en el área de calderas, ya que pueden tener rastros de minerales y lodos. Estas impurezas afectan el rendimiento de calderas presentando problemas más adelante, razón por la cual muchas plantas de beneficio cuentan con su propio sistema de tratamiento de aguas.

Los problemas más recurrentes en calderas por aguas de alimentación sin tratar son los siguientes:

Incrustaciones. Se forman sólidos cristalinos dentro de las calderas. El problema que presentan las incrustaciones en la caldera es su poder aislante, trayendo como consecuencia una disminución en la transferencia de calor hacia la fase líquida y por ende, disminución en el rendimiento de la caldera.

Lodos. Dentro de la caldera suceden vaporizaciones del líquido tomando así el aspecto de lodos que se suspenden en la superficie de la fase acuosa. Los lodos tienden a aumentar y a ocupar más espacio por efecto de la vaporización, lo que ocasiona el taponamiento de las tuberías de la caldera.

Corrosión. La corrosión es uno de los problemas más preocupantes debido a los graves daños que produce en las tuberías. La destrucción del metal ocurre por efecto de la acción química o electroquímica de muchas causas que lo producen. Dentro de estas están las sales corrosivas que deben ser controladas manteniendo el pH mínimo (Alcalino).o.

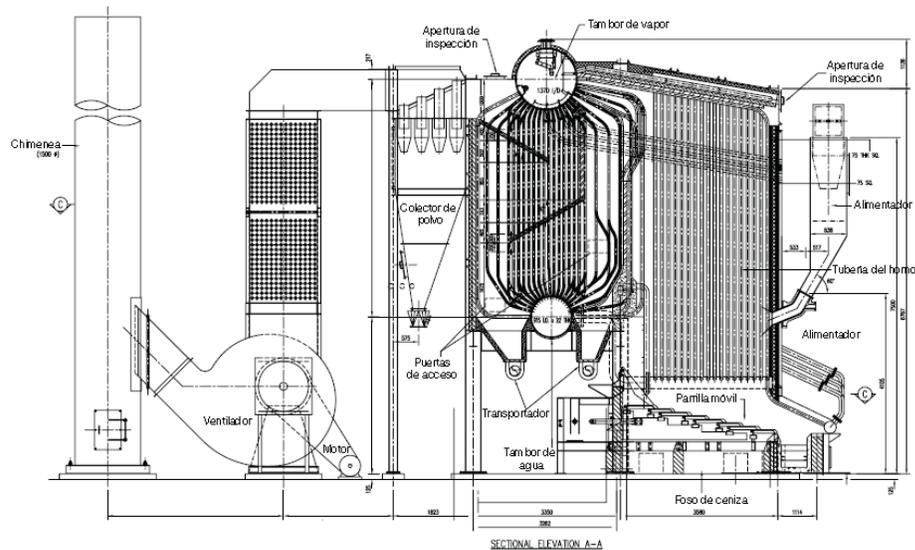
5.3.6.2 Generación de vapor

El vapor saturado es indispensable para una planta de beneficio. El vapor es usado para satisfacer la carga térmica necesaria en cada etapa del proceso. Generalmente las calderas en la industria son utilizadas mediante el uso de hidrocarburos. En las plantas de beneficio se usa la biomasa residual (fibra y cuesco) que genera el proceso, dada la disponibilidad, el uso de la biomasa como combustible

ha sido una tradición en la extracción de aceite de palma; en las plantas de beneficio se usan las calderas tanto pirotubulares como acuotubulares,

En las últimas décadas, se consideró la posibilidad de usar vapor para generar energía eléctrica, para ello se requirió el uso de calderas acuotubulares, las cuales brindan la posibilidad de trabajar con mayor flujo de vapor y niveles superiores de presión. En la siguiente ilustración se muestra un esquema de una caldera acuotubular convencional usada en plantas de beneficio.

Ilustración 6. Esquema caldera acuotubular convencional de una planta de beneficio.



Fuente: *TechnoSolfCo, Ltd.*

Este tipo de caldera permite obtener flujos de vapor entre 12 – 15 t vapor/ tRFF, y presiones de hasta 250 libras. Debido a la dificultad de operación en cuanto al retiro de cenizas, se incorporó en estas calderas sistemas que facilitan la remoción de material particulado inquemado, para lo cual se ha implementado la parrilla flotante y vibratoria en muchas calderas en plantas de beneficio. El sistema consiste en la instalación de un tornillo sinfín en la parte posterior de la caldera, más exactamente en el colector de cenizas, donde luego por efecto de ciclones las cenizas son evacuadas.

Con el fin de aumentar la eficiencia y rendimiento en calderas, existen parámetros que deben ser controlados, debido a que la disponibilidad del combustible es muy variable, las plantas de beneficio están obligadas a optimizar el proceso de combustión e incurrir en mejoras energéticas para el ahorro de combustibles, energía eléctrica, mejoras medioambientales y minimización de emisiones atmosféricas. Los parámetros que son optimizados son: el valor de la depresión o tiro, la cantidad de aire de combustión, la distribución de combustión, la temperatura del aire de combustión, la calidad y estado de conservación de materiales refractarios, la calidad y estado del material de fundición (parrillas) y la temperatura del hogar de combustión.

5.3.6.3 Energía eléctrica

Una planta de beneficio puede comprar y/o generar su propia energía, dependiendo de la ubicación de la planta y el sistema eléctrico de la zona. Sin embargo, existen plantas que debido a su ubicación o a falta de una buena calidad de energía eléctrica, generan su propia energía; la mayoría de ellas usan plantas diesel que si bien es mucho más costoso que comprar la energía a la red, la confiabilidad del sistema les permite tener periodos productivos más extensos.

Se han realizado estudios en los sistemas de cogeneración para descubrir el potencial de las plantas extractoras en Colombia usando un sistema de turbinas de extracción – condensación en las plantas y usando como combustible distintos residuos de la biomasa. Los resultados de la investigación efectuada por Cenipalma en 2006, permitieron establecer que por cada tonelada de fruto fresco una planta puede generar entre 70 – 90 kWh luego de suplir sus necesidades y entre 150 – 160 kWh cuando la planta de extracción no se encuentra procesando.

5.4 MANTENIMIENTO EN PLANTAS DE BENEFICIO ^[7]

Mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para la conservación de los equipos de producción, con el fin de asegurar que estos se mantengan en óptimas condiciones de confiabilidad y sean seguros para operar.

Muchas plantas de beneficio contemplan planes de mantenimiento dentro de su planeación estratégica con el fin de mejorar su productividad, considerando que el mantenimiento es un gasto necesario. En el caso de las plantas extractoras, éstas aún no han adoptado nuevas tecnologías, ni prácticas innovadoras en función de mejorar el mantenimiento, haciendo de éste una parte integral de la cadena productiva y comercial del aceite de palma.

El panorama actual de las plantas de beneficio en Colombia en cuanto a prácticas de mantenimiento es incierto, es por eso que nace la idea del proyecto impulsado por Cenipalma y el SENA. Por tradición y hasta el día de hoy, muchas de las labores de mantenimiento realizadas en las plantas son del tipo correctivo, la función de este proyecto es el cambio de la filosofía que actualmente rige las plantas, donde se centraba en trabajo de reacondicionamiento sin programación, en paradas debidas a fallas de equipos; sin embargo, antes de entrar en énfasis del proyecto primero se presentarán ciertos conceptos en los que se basa el proyecto.

5.4.1 Tipos de mantenimiento

Se conocen tres tipos de mantenimiento bien diferenciados

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

El propósito de los programas de operación y mantenimiento de las plantas, es mantener la funcionalidad del diseño, capacidad e integridad, y/o restaurar los componentes del sistema a su condición original y por ende a su funcionalidad.

5.4.1.1 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento es clasificado como correctivo cuando se efectúa sólo cuando las fallas han ocurrido o están al borde de ocurrir, por lo tanto este mantenimiento es reactivo, para lo cual no es necesario ser experto y su organización es mínima. Este tipo de mantenimiento se hace frecuente para equipos que han alcanzado

cierta edad operativa, siendo el enfoque del mantenimiento correctivo caracterizado por:

- La inhabilidad de planear y programar el trabajo
- La inhabilidad de presupuestar en forma adecuada
- Uso pobre de recursos
- Una alta incidencia de las fallas de los equipos y el proceso.

Un programa de mantenimiento eficaz puede reducir emergencias normales y conocidas, las emergencias extraordinarias tales como roturas de partes, serán siempre ocurrencias imprevisibles; sin embargo es posible reducirlas al mínimo ejecutando labores de mantenimiento efectivo junto con la elaboración de planes detallados en respuesta a la emergencia.

5.4.1.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento clasificado como preventivo es proactivo, éste tiene un enfoque sistemático programado a las intervenciones de mantenimiento. Este tipo de mantenimiento puede ser programado para prever las fallas con base en criterios específicos de parámetros de diseño, equipos problema, condiciones de trabajo supuestas o cierto tiempo transcurrido. Se caracteriza por evitar que las paradas ocurran durante el proceso mediante el servicio programado.

La buena organización de este tipo de mantenimiento permite ganar experiencia para identificar y clasificar fallas típicas y llega al punto de conocer los puntos débiles de las instalaciones y máquinas. Se encuentra limitado por esos defectos en equipos que por cuestión de diseño no pueden ser corregidos totalmente por las actividades de mantenimiento. El mantenimiento preventivo se realiza sobre una base periódica y se caracteriza por:

- Aumentar la automatización
- Reducir las pérdidas de la planta debido a retrasos en la producción
- Reducción de inventarios
- Producción de productos de mayor calidad

- Fabricación justo a tiempo
- Reducción de equipos redundantes
- Reducción de consumo de energía
- Necesidad de un ambiente más planeado y organizado

5.4.1.3 Mantenimiento predictivo

El tercer tipo de mantenimiento es el predictivo que también es proactivo, es un método donde se establecen datos bases de rendimiento, se monitorean criterios de funcionamiento durante un periodo de tiempo, se observan cambios en el funcionamiento o rendimiento, para poder predecir fallas de acuerdo con tendencias y así realizar el mantenimiento sobre una base planeada y programada. Las labores principales para desarrollar en una planta de extracción de aceite en cuanto a mantenimiento predictivo pueden ser:

- Establecer un mantenimiento general una vez al año u Overhaul
- Estudio y diagnóstico de espesores en los equipos a presión tanques, tuberías principales, ciclones y ductos.
- Estudio y diagnóstico de vibración en equipos rotativos como ventiladores, reductores de gran tamaño, centrifugas de lodos, decanters, turbinas y desfrutadores.
- Análisis de termografía de motores y tableros electrónicos
- Inspección de moto-reductores
- Inspección y diagnóstico de turbinas
- Inspección de calderas
- Diagnósticos regulares de todos los equipos e instalaciones, con la ayuda de instrumentos de diagnósticos tales como aparatos para medición de temperaturas, multímetro, fonendoscopios para inspecciones mecánicas, etc.

5.4.2 Programas de mantenimiento preventivo y predictivo

Los mantenimientos preventivos y predictivos son diseñados con el fin de mejorar la vida útil de los equipos, evitando las fallas continuas y por ende las actividades de mantenimiento imprevistas. Ambos mantenimientos requieren de trabajos de pintura, lubricación, limpieza, ajuste, ensayo no destructivos y remplazo de partes o componentes para ampliar la vida del equipo. El propósito es reducir al mínimo las interrupción y la depreciación excesiva. Existen muchas razones para establecer un programa de mantenimiento preventivo y predictivo, la razón más importante es la reducción de costos, vista desde los siguientes ángulos:

- Reducción de tiempos de parada de producción, como resultado de menores daños en las máquinas.
- Mejor conservación de los activos e incrementos en sus expectativas de vida, eliminando el remplazo prematuro de la maquinaria y equipos.
- Reducción de horas extras y la utilización más racional de los trabajadores de mantenimiento, debido a un trabajo basado en una programación.
- Una rutina de reparaciones oportunas lleva a pocas reparaciones grandes
- Reducción de costos de reparaciones al reducir fallas secundarias
- Reducción de productos rechazados, re-trabajo y desechos, debido a una mejor condición general de los equipos
- Identificación de los equipos con costos de mantenimiento excesivos, indicando la necesidad de mantenimiento correctivo, entrenamiento del operador o reemplazo de equipos obsoletos
- Mejoría en la seguridad y en las condiciones de calidad.

5.5 SISTEMAS DE INFORMACION EN MANTENIMIENTO ^[2]

Los sistemas de información son herramientas informáticas vitales para realizar seguimientos a las estrategias, técnicas, operaciones e instrumentos que se utiliza en la gestión y operación de mantenimiento. Un sistema de información en mantenimiento entiende todos los procesos, procedimientos y recursos involucrados en

conservar el esquema de mantenimiento en funcionamiento, estos sistemas se retroalimentan por medio de la generación de información proporcionada por estos mismos con ayuda de información habilitada por entes externos y ejerciendo un control de los parámetros claves del sistema.

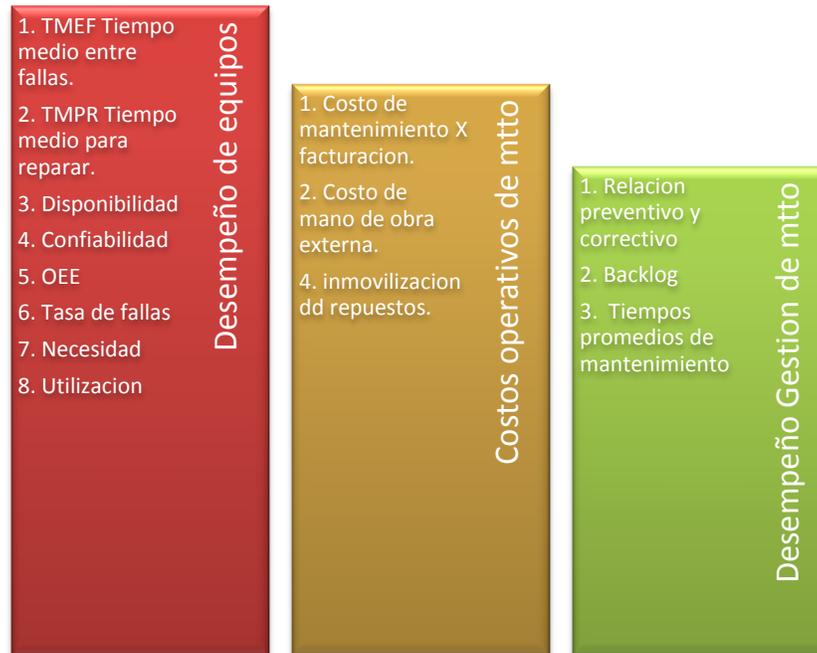
La facilidad que ofrece estos sistemas es permitir la toma de decisiones en tiempo real, sin embargo, la calidad de esas decisiones radica en la complejidad del sistema ya que es necesario contar con sistemas de información que fortalezca la confiabilidad del sistema.

Los sistemas de información deben ser flexibles y versátiles, de fácil acceso a redes o sistemas a distancia. Se debe entender como herramientas de apoyo logístico del mantenimiento, por lo tanto no puede ser el todo y se deben coordinar actividades sistemáticamente organizadas con el fin de alimentar y distribuir la información en los momentos necesarios, todo con el fin de evitar que el sistema colapse.

5.6 INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ^[2]

Los indicadores de gestión de mantenimiento, son la evidencia tangible sobre los resultados del continuo seguimiento realizado a las etapas productivas del proceso industrial estudiado, a partir de estos indicadores se pueden establecer estrategias para desarrollar programas de mantenimiento de alto desempeño, los cuales consisten en la optimización del uso de los recursos dispuestos por la planta para ejecutar labores de mantenimiento. Además, facilitan la toma de decisiones, permitir la realización de benchmarking y exponer las condiciones de la planta. Existen tres clases de indicadores que hoy en día los departamentos de mantenimiento de las organizaciones están implementando, el primer grupo se encuentra demarcado el desempeño operativo de equipos, indicadores indirectos. La segunda clase refiere a costos operativos de mantenimiento, estos son directos. Por último se encuentran los indicadores que aluden al desempeño de la gestión misma de mantenimiento.

Ilustración 7. Tipos de indicadores



Si una compañía desea enfocar los indicadores como objetivos de mantenimiento, es necesario que se desarrollen y ejecuten planes de mejora, estos indicadores permitirán detectar las oportunidades de mejora en la planta. Por otro lado si se desea realizar benchmarking, una empresa debe estandarizar los indicadores conforme se encuentran establecidos en el medio competitivo en el que habita, los indicadores deben estar referenciados como de clase mundial

Los indicadores con los cuales se deben realizar la comparación son: tiempo medio entre fallas (MTBF⁸), tiempo medio para reparar (MTTR⁹), tiempo medio para fallas (MTTF¹⁰), disponibilidad, confiabilidad, costo de mantenimiento por facturación y costos de mantenimiento por valor de reposición.

⁸ Mid Time Between Fail, en español TMEF

⁹ Mid Time To Repair, en español Tmpr

¹⁰ Mid Time To Fail, en español Tmpf

5.6.1 Disponibilidad de equipos

La disponibilidad de un equipo es el tiempo total durante el cual un equipo está operando satisfactoriamente, mas el tiempo es estando en receso, puede trabajar sin contratiempos durante un periodo.

El índice de disponibilidad operacional, puede determinarse en función de:

$$ID = \frac{TPEF}{TPEF+TPPR} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

TPEF: Tiempo promedio entre fallas.

TPPR: Tiempo promedio para reparar

El objetivo más grande del mantenimiento científico es lograr la máxima disponibilidad de todos los equipos. La disponibilidad se define en términos matemáticos, como la probabilidad de que un equipo o sistema sea operable satisfactoriamente a lo largo de un periodo de tiempo dado. La disponibilidad depende de la confiabilidad y la mantenibilidad. Tener como objetivo una alta disponibilidad, significa reducir al máximo el numero de paradas para obtener una operación exitosa, económica y rentable.

5.6.2 Confiabilidad

La confiabilidad puede definirse como la probabilidad de que un equipo no falle en servicio durante un periodo de tiempo dado, el tiempo promedio entre fallas es un indicativo de la confiabilidad; entre mas alto sea mayor es la confiabilidad. También se puede entender como la confianza que se tiene de un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un periodo de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación.

La confiabilidad se puede determinar mediante el tiempo promedio entre fallas (TPEF) , ya que es una medida de confiabilidad en términos de tiempo,

$$TPEF = \frac{\sum \text{Todos los tiempos de operacion}}{\text{Numero de Fallas}}$$

También puede ser expresada a través de la siguiente ecuación

$$R(t) = e^{-\mu t}$$

Donde:

$R(t)$ = Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado.

μ = Tasa de fallas (numero total de fallas por periodo de operación)

t = tiempo

Cuando la tasa de fallos es constante, la distribución del tiempo entre fallos es exponencial, entonces es posible predecir la confiabilidad con base en la función exponencial. Cuando esto sucede se debe aplicar la función de Weibull y otros métodos.

5.6.3 Costos de mantenimiento

El coste, junto con la disponibilidad, son los dos parámetros que el responsable de mantenimiento maneja constantemente, y eso es porque la información que le aportan es determinante en su gestión.

La cantidad de índices que hacen referencia a los costes del departamento de mantenimiento es inmensa. Aquí se exponen algunos que pueden resultar prácticos.

- **Coste de la mano de obra por secciones:** Si la empresa se divide en zonas o secciones, es conveniente desglosar este coste para cada una de las zonas o secciones. Si éstas tienen personal de mantenimiento permanente, el coste será el del personal adscrito a cada una de ellas. Si se trata de un departamento central, el coste por secciones se calculará a partir de las horas empleadas en cada una de las intervenciones.

El cociente de dividir el n° total de obras empleadas en mantenimiento entre el coste total de la mano de obra.

$$\textit{Coste de hora medio} = \frac{\textit{N}^\circ \textit{ de horas de mantenimiento}}{\textit{Coste total de la mano de obra de mto}}$$

- **Coste de materiales:** Se pueden hacer tantas subdivisiones como se crea conveniente: por secciones, por tipo (eléctrico, mecánico, consumibles, repuestos genéricos, repuestos específicos, etc.)
- **Coste de subcontratos:** También pueden hacerse las subdivisiones que se considere oportunas. Algunas subdivisiones comunes suelen ser: subcontrato a fabricante y especialistas, subcontratos de inspecciones de carácter genéricas.

6 DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 METODOLOGÍA

La metodología a implementar en las plantas de beneficio de la Zona Oriental, son un conjunto de pasos a seguir en cada una de las plantas a intervenir, dentro de la metodología se contempló el levantamiento de información a través de formatos previamente establecidos, y que son adaptados dependiendo de los módulos de la planta de beneficio. Además, se estableció una estandarización de las áreas comunes de la planta, esto con el fin de manejar todas las plantas de beneficio del país bajo un mismo esquema, facilitando la consolidación de información nacional y determinando los indicadores bases que posteriormente serán usados como benchmarking.

La información generada posteriormente fue introducida en un software diseñado exclusivamente por Cenipalma con el fin de administrar la gestión del mantenimiento en las plantas de beneficio, a diferencia de otro software especializado en mantenimiento, éste ha sido diseñado con el fin de satisfacer las necesidades del sector palmero.

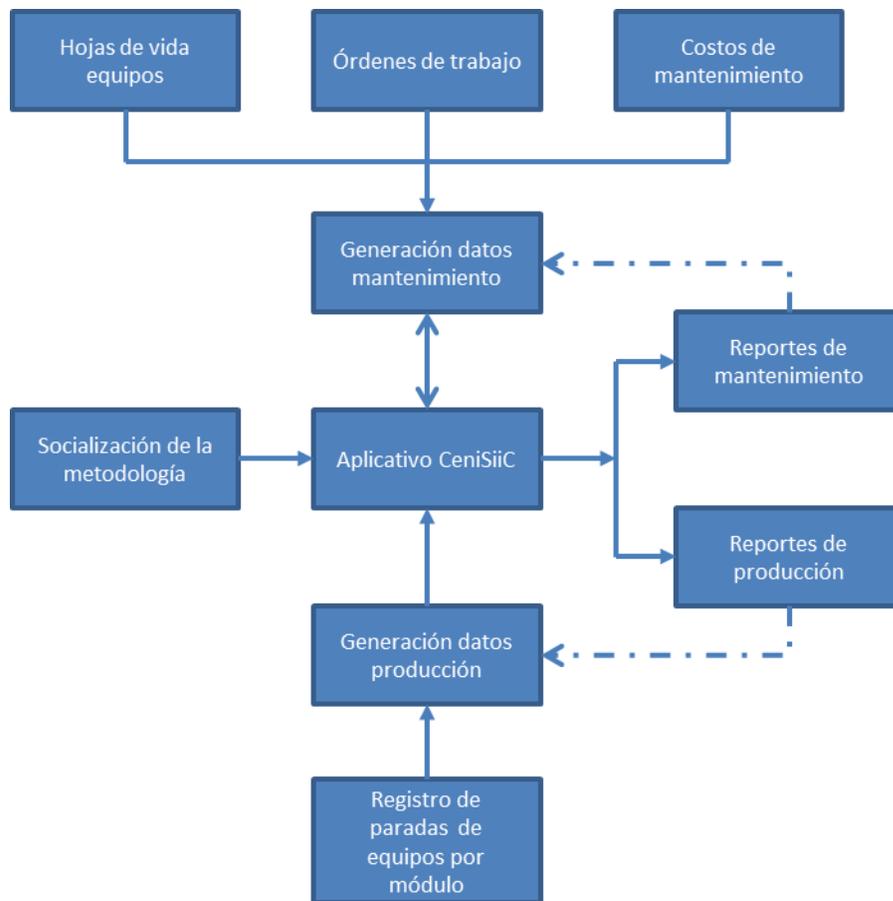
Las actividades que comprende el proyecto y debieron ser ejecutadas en cada una de las plantas son las siguientes:

- Presentación de Metodología de Mantenimiento y CeniSiiC.
 - Socialización de la metodología y CeniSiiC a directivos y jefes de la planta.
 - Socialización de formatos de órdenes de trabajo, hojas de vida de equipos, control de paradas y fallas, costos de mantenimiento y los diversos reportes.
- Recopilación de datos para conformar base de información.
 - Datos de paradas y fallas asociadas a proceso y a mantenimiento.
 - Datos primarios de equipos instalados en planta.
 - Datos primarios de personal de mantenimiento.
 - Datos primarios de centros de costos asociados a mantenimiento.
 - Datos primarios de servicios externos de mantenimiento.

- Generación de información y reportes en CeniSiiC.
 - Consulta de información almacenada con anterioridad y generación de indicadores a la fecha.
 - Generación de reportes a la fecha.
- Entrega de documentación de referencia, aplicativo e informe final de la gestión desarrollada.

En la ilustración 8 se resume en un diagrama de bloques la integración de las diversas actividades para obtener los resultados finales.

Ilustración 8. Diagrama de bloques de la metodología a seguir.



6.2 ESTANDARIZACIÓN

Con el fin de explicar y desarrollar la metodología de manera más sencilla, se estableció una tabla de nomenclaturas donde se definen las áreas comunes entre las plantas (ver anexo 21), llamadas en este caso unidades de producción, además se

identificaron las paradas clasificándolas en dos tipos, paradas por proceso y paradas no programadas, por último se encuentran las áreas estandarizadas que serán de gran ayuda a la hora de asignar los trabajos de mantenimiento. (Ver anexo)

6.3 CENISIIC: SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN COMPUTARIZADA

CeniSiiC nace como una herramienta para contribuir a la toma de decisiones a nivel de mantenimiento y gestión de activos, producción y gerencia, en las plantas de beneficio del país. El aplicativo CeniSiiC empezó a ser desarrollado a inicios del año 2011 y hoy por hoy se lleva el 37% (20 de 57 plantas activas) de implementación a nivel nacional.¹¹

En la siguiente figura se puede apreciar la evolución de la formación de CeniSiiC, en lo que es hoy en día, el aplicativo CeniSiiC, el cual ha sido completamente desarrollado por el programa de procesamiento de Cenipalma con apoyo del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

Ilustración 9. Formación de CeniSiiC [2]



6.4 ESTRUCTURA DE CENISIIC

Vale la pena aclarar que CeniSiiC está basado en la funcionalidad de las herramientas software CMMS que ayuda en la gestión de los servicios de mantenimien-

¹¹ Proyección de 28 PB para finales de 2012.

to de una empresa. La gestión de mantenimiento asistido por computadora (CMMS, Computerized Maintenance Management System) básicamente es una base de datos con información sobre una empresa, donde se registran las operaciones de mantenimiento, de manera que facilita la gestión de las intervenciones de mantenimiento, ayudando a desarrollar planes efectivos y de forma ordenada para aplicar los trabajos deseados.

Ilustración 10. Estructura funcional de CeniSiiC



Fuente: tomado de Presentación Resultados y Avances de Investigación. Taller Interno Semestral de Investigadores Cenipalma 2012. Cenipalma 2012.¹²

En el anterior cuadro conceptual, se expone la estructura funcional del aplicativo CeniSiiC, su estructura se caracteriza por tener varios módulos, que permiten tener un sistema que cubre tanto el área de producción como el de gestión de mantenimiento. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los módulos:

- **Administrador de equipos**

El modulo administrador de equipos permite acceder, registrar y modificar información sobre los equipos en la planta de beneficio, dentro de éste se puede consultar información básica del equipo (nombre, marca, modelo, ubicación, ti-

¹² Los módulos con (*) aún están en fase de diseño, programación y ejecución. Se planean acciones conjuntas enfocadas al desarrollo de estos módulos para el año 2013.

po de equipo, proveedor, año de construcción, etc.), consta, además, de espacio para revisar las intervenciones anteriores hechas por mantenimiento. Cabe resaltar que esta bitácora de intervención se alimenta automáticamente del diligenciamiento de las órdenes de trabajo.

- **Órdenes de trabajo**

El módulo de órdenes de trabajo permite diligenciar la información de las intervenciones de mantenimiento realizadas en un equipo, éste contiene datos específicos sobre los tipos de mantenimiento realizados (correctivo, preventivo, predictivo), entre otros datos como el tipo de labor (mecánica, eléctrica, construcción y/o montaje de equipos), si es un trabajo programado o no programado, intervalo de tiempo en el que se ejecutó el trabajo. Adicionalmente, se relacionan los tres aspectos referentes a costos de mantenimiento, mano de obra involucrada en la intervención, materiales usados y en caso de contratación externa se discriminan los servicios externos. El módulo permite buscar y consultar las órdenes trabajo por medio de un código consecutivo que el aplicativo CeniSiiC genera.

- **PM Preventivo**

Este módulo se encuentra actualmente en desarrollo, la idea principal de este módulo es generar la capacidad de programar intervenciones futuras cuando un equipo lo amerite.

- **Análisis RCA (análisis causa-raíz)**

Este módulo se encuentra también en desarrollo. Permitirá identificar aquellos equipos con mayor reincidencia en paradas e intervenciones, para luego tomar la mejor medida para solucionar el problema.

- **Descripción de costos**

En este módulo se diligencia la información referente a los costos totales de mantenimiento, la cual es ingresada mensualmente, y describe los costos de mano de obra interna, los costos por materiales usados durante el mes y finalmente los servicios externos contratados durante el mes.

- **Administrador de paradas**

En este módulo se registran las paradas por cada módulo de producción los cuales son, el módulo de producción de aceite rojo (CPO¹³); módulo de recuperación de aceite (RAC); módulo de recuperación de almendra (RAL); y el módulo de extracción de aceite de palmiste (KPO¹⁴).

- **Consumo energético y análisis URE**

Este módulo se encuentra actualmente en desarrollo. Como su nombre lo indica, esta unidad permite registrar datos de consumo de energía eléctrica y térmica, además el software estará en capacidad de identificar aquellas oportunidades de mejora para implementar técnicas de uso racional de la energía.

- **Reportes e informes**

Este módulo permite visualizar por medio de datos y gráficos el consolidado total de la información. El módulo se divide para dar así los siguientes informes con sus respectivos gráficos:

- ✓ Detalle de paradas por equipos
- ✓ Consolidado anual de paradas
- ✓ Trabajos de mantenimiento
- ✓ Costos de mantenimiento
- ✓ Análisis de paradas
- ✓ Reporte Cenipalma

6.5 INDICADORES DE EFICIENCIA Y MANTENIMIENTO PARA CENISIIC

Dentro de los parámetros en los que se encuentra diseñado CeniSiiC, vale la pena recalcar que los informes están basados en indicadores de eficiencia y mantenimiento. Para medir la eficiencia productiva de la planta de beneficio se usa el indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia General de los Equipos), mientras que la gestión del mantenimiento se mide por los indicadores MTBF

¹³ Crude Palm Oil o en español ACP (Aceite crudo de palma)

¹⁴ Kernel Palm Oil, Aceite de pamiste.

(Midtime Between Failure o Intervalo de Tiempo Medio entre Falla), MTBPM (Midtime Between Program Maintenance o Intervalo de Tiempo Medio entre Mantenimientos Programados), MTTR (Midtime To Repair o Intervalo de Tiempo Medio para Atención a Fallas).

6.5.1 Eficiencia general de los equipos (OEE)

El índice OEE es el resultado de multiplicar tres razones porcentuales: la disponibilidad, la eficiencia o rendimiento y la calidad. Dando como resultado un indicador porcentual como se demuestra en la siguiente ecuación.

Ecuación 1. Ecuación general del OEE

$$OEE = Eficiencia * Disponibilidad * Calidad$$

La eficiencia de un equipo, módulo o planta se calcula de la siguiente forma,

Ecuación 2. Ecuación de la eficiencia

$$Eficiencia (\%) = \frac{Capacidad\ real\ de\ procesamiento}{Capacidad\ nominal\ de\ procesamiento}$$

La disponibilidad se calcula como,

Ecuación 3. Ecuación de disponibilidad

$$Disponibilidad (\%) = \frac{Tiempo\ neto\ operativo}{Tiempo\ neto\ operativo + Tiempo\ de\ paradas\ por\ eventos}$$

Actualmente no se ha definido un método para medir la calidad del producto final en las plantas de beneficio, por lo tanto se considera como ideal en la primera etapa del proyecto.

El OEE puede determinar o clasificar varias líneas de producción, para el caso del sector palmero, se evalúa cada módulo de producción de la planta ya que se consideran independientes uno del otro. Con respecto al OEE se puede evaluar de la siguiente forma:

OEE > 65% Inaceptable. Se producen pérdidas económicas. Módulo poco competitivo

65%>OEE>75% Regular. Aceptable solo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad.

75%>OEE>85% Aceptable. Continuar la mejora para superar el 85% y avanzar hacia la World Class. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.

85%>OEE>95% Buena. Entra en valores World Class. Buena competitividad.

OEE>95% Excelencia. Valores World Class. Excelente Competitividad.

Una vez implementado la metodología a nivel nacional, se espera que el OEE general de una planta de beneficio en Colombia ronde por el 70%.

6.5.2 Tiempo medio entre falla (MTBF)^[1].

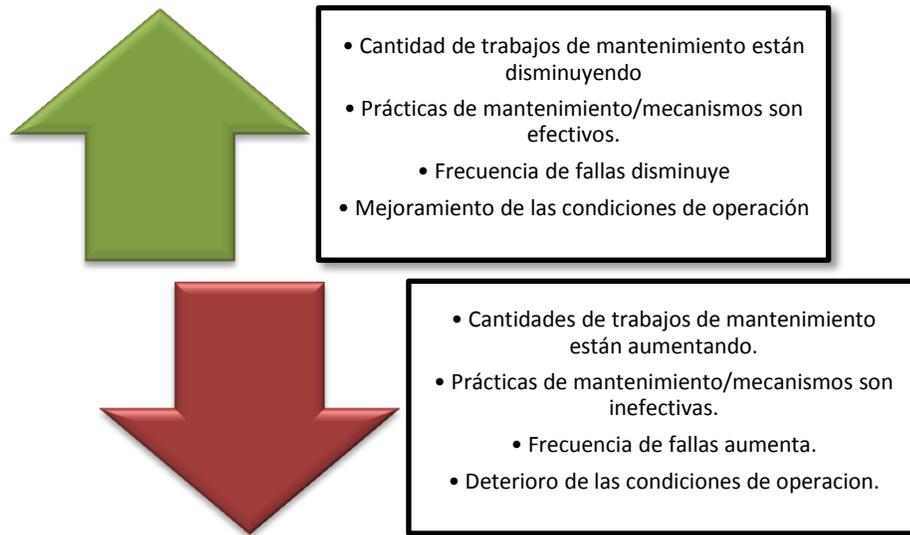
El tiempo medio entre fallas es el promedio entre el tiempo operativo y los eventos consecutivos ocurridos en un equipo o módulo. El indicador MTBF se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo operativo}}{\textit{Numero de fallas o Eventos no programados}}$$

Ecuación 4. Tiempo medio entre falla

En la siguiente ilustración se explica cómo se puede interpretar el indicador MTBF

Ilustración 11. Interpretación del indicador MTBF¹⁵



6.5.3 Tiempo medio para reparar (MTTR)^[1]

El tiempo medio para reparar es el promedio entre el tiempo no operativo y los eventos consecutivos ocurridos en un equipo o módulo. El indicador MTTR se calcula por medio de la siguiente ecuación:

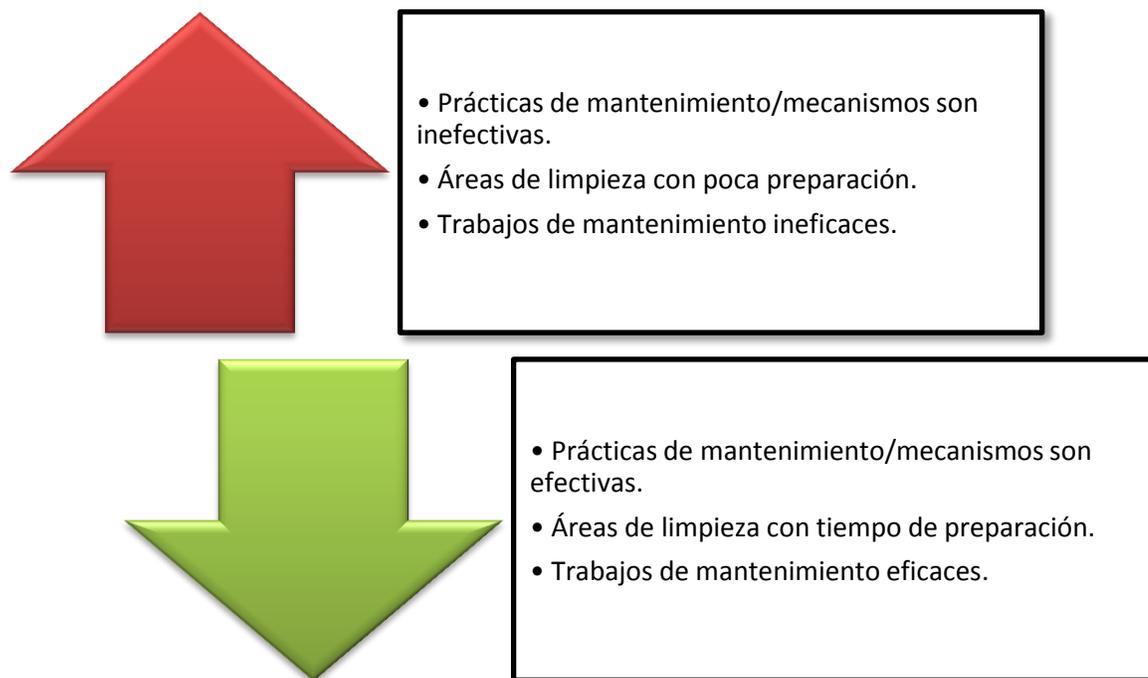
$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo no operativo}}{\textit{Numero de fallas o Eventos no programados}}$$

Ecuación 5. Tiempo medio para reparar.

En la siguiente ilustración se explica cómo se puede interpretar el indicador MTTR

¹⁵ Presentación BHPbillition. Modificada por autor.

Ilustración 12. Interpretación del indicador MTTR¹⁶



No se conoce algún valor promedio para los indicadores MTBF y MTTR, de hecho no se ha establecido una medida a nivel mundial, por lo tanto uno de los principales objetivos de CeniSiiC es definir un indicador estándar.

6.6 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

El tiempo total de la práctica fue de seis meses comenzando desde el 4 de febrero hasta el 5 de agosto de 2012. Durante la práctica empresarial se logró implementar el aplicativo CeniSiiC en cuatro plantas de beneficio, además se conoció el proceso de extracción de aceite en dos plantas más; para un total de seis plantas visitadas durante la práctica a lo largo de la Zona Oriental.

Planificación de actividades

Para las cuatro plantas donde se implementó la metodología junto con el aplicativo CeniSiiC se realizaron las siguientes actividades,

¹⁶ Presentación BHPbillition. Modificada por autor.

6.6.1 Recorrido; reconocimiento del proceso de extracción de la planta; presentación de metodología de mantenimiento y CeniSiiC.

Antes del inicio de toda actividad, se realizó una inspección al sitio de trabajo durante las siguientes semanas que el estudiante en práctica permaneció en la instalación, se conocieron los detalles particulares de cada planta, las áreas específicas y distribución de la planta, en materia de seguridad siempre se procuró realizar una reunión con el área de salud ocupacional con el fin de identificar los posibles riesgos durante la permanencia dentro de la planta de beneficio, así como las rutas las rutas de evacuación en caso de emergencia.

Una vez terminado el recorrido por la planta, se procede a realizar una reunión con las directivas y jefes de departamentos, principalmente con el director de la planta y el jefe del área de mantenimiento, de la misma, con el fin de socializar la metodología de mantenimiento junto con el aplicativo CeniSiiC. En algunos casos durante estas reuniones se contó con la presencia del Gerente de la empresa. Dentro de los temas puntuales que se trataron durante la reunión, se encuentran los siguientes:

- Presentación de CeniSiiC: socialización de formatos de órdenes de trabajo, hojas de vida de equipos, control de paradas y fallas, costos de mantenimiento, reportes consolidados y detallados y posteriores desarrollos en curso de CeniSiiC.
- Coordinación de fechas de duración del proyecto, presentación del personal dispuesto por la planta para realizar el acompañamiento durante la captura y seguimiento de datos junto con su correspondiente diligenciamiento en CeniSiiC.

6.6.2 Capacitación de personal involucrado en la captura de información para la implementación del aplicativo CeniSiiC.

Se dicta una charla dirigida a supervisores y mecánicos de turno, con el objetivo de integrarlos en la mecánica para captura de datos, donde se discute y se expli-

can las referencias de paradas, unidades de producción y las áreas en la planta de beneficio.

La capacitación se dicta de manera continua durante la estancia en la planta, en los acompañamientos para el diligenciamiento de los formatos se resuelven dudas e inquietudes de los operarios. Dicha capacitación sólo se dictó para los operarios de los equipos que presentan la máxima criticidad por módulo, para el caso del módulo CPO se brindó atención al operario de la prensa, en el módulo RAL en la rompedora o *ripper mill*, para el módulo RAC en la *centrífuga, decanter o tridecarter*. Vale la pena aclarar que durante la práctica no se visitó ninguna planta con módulo de extracción de aceite de palmiste (módulo KPO), sin embargo en caso de que existiese se llevaría el respectivo control en el *expeller*.

6.6.3 Levantamiento de equipos y codificación.

Se realizó un listado general de los equipos en la planta de beneficio, en esta lista se incluyeron los equipos que se encuentran activos y los que están integrados en el plan de ampliación de la planta. Los datos de información básica de los equipos constan de los siguientes ítems:

- Módulo de producción
- Áreas (recepción, esterilización, desfrutado, digestión y prensado, clarificación, recuperación de aceite, recuperación de almendra, servicios industriales y almacenamiento)
- Tipo de equipo (Producción, Transporte)
- Nombre del equipo
- Marca
- Capacidad y unidad de medidas
- Proveedor
- Estado (activo, inactivo)

Una vez plasmada la información básica de los equipos se procedió a complementar sus características generales, donde se especifica entre otras cosas los com-

ponentes que integran el equipo, tales como motores, cadenas, correas, rodamientos, chumaceras, aceites lubricantes, láminas, platinas, dimensiones, etc.

Una vez terminado la base de datos, se procedió a ingresar la información en el aplicativo CeniSiiC, adicionalmente durante el recorrido por la planta se realizó un registro fotográfico de cada uno de los equipos del proceso, las cuales se adjuntaron en la hoja de vida del equipo.

6.6.4 Generación y seguimiento de órdenes de trabajo y bitácoras de producción.

6.6.4.1 Órdenes de trabajo:

Las órdenes de trabajo se generan por medio del formato designado (**Ver anexos**) para diligenciar los trabajos o intervenciones que son necesarias hacer en el equipo. La orden de trabajo diligencia el equipo de trabajo de mecánicos que realiza la intervención. Los ítems más relevantes que deben ser llenados son los de mano de obra y materiales usados en la intervención. La frecuencia de generación de hojas de vida depende de la cantidad de actividades de mantenimiento que se programen para el día y de los inconvenientes o paradas no programadas que se presenten en el día.

6.6.4.2 Bitácoras de producción

El registro de producción se realizó diariamente. En el formato (**Ver anexos**) se diligenciaron las paradas en el proceso durante la jornada laboral y a su vez la cantidad de materia prima procesada (dato proveniente de laboratorio el día siguiente). Se mantuvo control en los tres módulos de producción de la planta, en el módulo de extracción de aceite rojo sobre las tres prensas, donde se realizó una modificación en el formato para llevar el registro diario en la planta. En el módulo de recuperación de aceite y en el módulo de recuperación de almendra no se efectuaron cambios en los formatos.

6.6.5 Recopilación de información de costos

La información de costos se divide en tres áreas que se definen a continuación, esta información se genera al término de cada mes

6.6.5.1 Nómina interna mantenimiento

Por medio de la organización administrativa se obtuvieron los datos relacionados con los costos de mantenimiento de la nómina interna de mantenimiento, donde se diligencia información básica de los empleados de la planta como su número de identificación, nombre, cargo que desempeña, valor del salario base, la carga prestacional que maneja la empresa, el total de horas extras trabajadas y valor pagado por concepto de horas extras.

6.6.5.2 Materiales para mantenimiento

Se solicitó al almacén de la planta la relación de salidas de material para mantenimiento. El almacén entregó el consolidado mensual de las salidas, en el cual se describe de manera detallada el material que sale, el lugar o destino y el costo del mismo.

6.6.5.3 Servicios externos requeridos

Se listaron los servicios requeridos por la planta de beneficio, definiendo el tipo de servicio (especializado, falta de mano de obra y/o rapidez de solución), la referencia de quien ejecutó el trabajo y por último, el valor del servicio.

6.6.6 Ingreso de información en aplicativo CeniSiiC

Una vez obtenida la información correspondiente a la gestión del mantenimiento, se procedió a alimentar la plataforma del aplicativo CeniSiiC. Es así que mientras se desarrollaron las sesiones en las que se ingresó la información, se capacitó a la persona designada por la planta para el manejo de CeniSiiC.

6.6.7 Entrega de aplicativo a planta de beneficio.

Al término del tiempo en el que se realizó la implementación, se efectuó una nueva reunión con las directivas de la planta, en la cual se presentaron las labores ejecutadas durante la estancia en la planta de beneficio, así como los informes preliminares realizados y se hizo entrega de los formatos diligenciados junto con un informe final que contenía información detallada.

6.7 PLANTAS DE BENEFICIO IMPLEMENTADAS

Por cuestiones de confidencialidad, en este informe se omiten los nombres de las plantas implementadas en el proyecto; sin embargo, vale la pena aclarar que las cuatro plantas tienen capacidades medianas y pequeñas; la planta más grande tiene una capacidad de procesamiento de 22 t/RFF, mientras que la más pequeña tiene una capacidad de 9 t/RFF, las otras dos plantas tienen capacidades de 15 t/RFF y 13,5 t/RFF.

En cuanto al área de esterilización, las cuatro plantas trabajan por medio de esterilización convencional, aunque una de las plantas se encontraba en estado de prueba del proceso de esterilización continua. En el área de desfrutado, todas poseen características similares, únicamente varía la capacidad de diseño del tambor desfrutador. El proceso de descargue de los vagones es el mismo en las cuatro plantas, por medio de una mesa de volteo, que nuevamente por factores de diseño se diferencian entre plantas, ya que emplean vagones de diferentes capacidades (650 kg, 1 t, 2,7 t, 5 t).

En cuanto a capacidad de prensado, tres de las cuatro plantas tienen instaladas tres prensas de las cuales dos definen la capacidad total de las plantas (9 t/RFF y 15 t/RFF), la planta cuya capacidad de procesado es de 13,5 t/RFF se encuentra limitada por diseño de otros equipos en la planta, mientras que la planta de 22 t/RFF casi triplica el potencial instalado, todo con el fin de garantizar la continuidad del proceso. En relación con el área de clarificación, todos los procesos son estáti-

cos y se recupera aceite en lodos por medio de centrífugas, a excepción de la planta de 22 t/RFF cuyo método para recuperar aceite es mediante un Tridecanter.

En el caso de recuperación de almendra, todas las plantas trabajan el mismo sistema para obtener la almendra; por medio de rompedoras para las nueces más grandes y rippler mill para las nueces más pequeñas. Ninguna de las plantas intervenidas tiene en sus instalaciones un módulo de extracción de aceite de palmito. Finalmente, en cuanto a servicios industriales, todas las plantas generan vapor por medio de la fibra residual del proceso, todas tienen por lo menos dos calderas en condiciones de operación e incluso se puede encontrar tres calderas, todas de tipo acuotubular. Las capacidades de las calderas varía entre 250 CV hasta 800 CV.

Respecto a suministro eléctrico, dos de las plantas implementadas trabajan conectadas al sistema de la red regional por medio de contratos previamente establecidos; en el caso de otra de las plantas, ésta opera por medio de generadores diesel. Mientras que la planta de mayor capacidad opera con generadores diesel y además, cuenta con un sistema de cogeneración con turbina a vapor.

Finalmente los horarios de producción son muy variables entre las plantas, aunque depende de la cantidad de fruto recibido por la planta de beneficio, en condiciones normales de operación las dos plantas más pequeñas operan en un turno de 8 a 10 horas; para el caso de las dos más grandes, se trabajan dos turnos de 12 horas para la planta de mayor capacidad, mientras que para la otra planta, se trabaja 24 horas repartidas en tres turnos de 8 horas cada uno.

La siguiente tabla muestra un resumen de las características generales mas comunes entre las plantas de beneficio implementadas,

Tabla 7. Cuadro de características comunes de las PB

	Vagones				Esterilización Continua	Esterilización Convencional	Tambor desfrutador		Recuperación de aceite		Suministro Energía Eléctrica		Capacidad de la planta (Ton/RF)
	650 Kg	950 Kg	2.7 Ton	5 Ton			15 Ton	30 Ton	Por Centrifugas	Por Tridecanter	Red local	Generación InSitu	
PB1			X		X	X		X		X		X	22
PB2		X				X		X	X		X		13,5
PB3	X			X		X		X	X		X		15
PB4		X				X	X		X			X	9

7 RESULTADOS

En el cuadro de anexos se puede consultar los reportes generados por CeniSiiC para cada una de las cuatro plantas.

Los siguientes análisis corresponden a la interpretación de los reportes generados por CeniSiiC, en cada una de las cuatro plantas implementadas durante la pasantía, los análisis se realizan con base a los reportes de indicadores de mantenimiento y producción, costos de mantenimiento y análisis de paradas por módulos. Por motivos de privacidad de las plantas de beneficio, se abstiene de mencionar el nombre y la ubicación de las plantas.

7.1 INTERPRETACIÓN DE DATOS CONSOLIDADOS EN PLANTA DE BENEFICIO 1

Los análisis presentados a continuación corresponden al consolidado de la información generada en el intervalo de tiempo comprendido entre el 1 de abril hasta el 18 de agosto de 2012, vale la pena aclarar que la planta cuenta con información desde 2011, año en el que se implementó la metodología por parte de Cenipalma. Por cuestiones de disponibilidad de tiempo estos datos no se importaron al aplicativo CeniSiiC, sin embargo la gran cantidad de información permite definir el panorama actual de la planta de beneficio.

Tabla 8. Análisis de reportes PB 1

Grafico	Análisis
Reporte Detalles de Paradas. Generado por CeniSiiC	Según el reporte generado por CeniSiiC, la planta presenta a simple vista un comportamiento poco confortable, sin embargo a la hora de realizar un análisis profundo para identificar las causas de un OEE del 27,2% el cual es muy bajo, se encuentra que la planta tiene una buena disponibilidad de equipos, y esto es obvio, ya que la planta actualmente tiene una capacidad de 62 t/h repartida en

tres líneas de prensado, de a dos prensas por línea; sin embargo, la totalidad de las prensas no se encuentran en operación constantemente durante una jornada laboral, ya que esto varía dependiendo de la cantidad de fruto disponible. La razón del OEE bajo es el rendimiento por razones de capacidad de la planta, el rendimiento real no llega a ser mayor de 22 t/h comparado con el potencial instalado de la planta, el rendimiento de la planta está por el orden del 31,2%, el cual afecta directamente el OEE de la planta.

Según los estándares internacionales para calificación del indicador OEE, para industrias de proceso palmero el indicador mayor a 90%, se calificaría como industria de clase mundial (WCM). Esto indica que existen diversas oportunidades de mejora que podrán ser identificadas en razón de la actualización y diligenciamiento correcto del aplicativo, y de las acciones que se realicen basadas en los indicadores obtenidos.

El indicador MTBF (intervalo de tiempo entre fallas) tiene un comportamiento que tiende a la mejora para el módulo CPO, puesto que a medida del paso de tiempo las fallas no programadas son menos comunes. Igualmente se marca la misma tendencia para el modulo RAC; sin embargo, para el módulo RAL las cantidades de paradas están aumentado ya sea por reparaciones excesivas o falta de mantenimiento preventivo.

En cuanto al indicador MTTR, éste muestra una variabilidad e inconstancia en los datos, lo que supone una falla en la ejecución de los planes de mantenimiento y por lo

tanto intervenciones de mantenimiento deficiente. Es necesario hacer una revisión y seguimiento a las órdenes de trabajo y verificar qué tan efectivos son los mantenimientos, con el fin de garantizar una mejor confiabilidad en los reportes generados por CeniSiiC.

Costos de Mantenimiento. Generado por CeniSiiC

En cuanto al reporte de costos se pudo obtener la información pertinente a los meses de abril hasta julio. El costo total de mantenimiento varía y no sigue la tendencia de las curvas de la cantidad total de materia prima procesada, algunos puntos de la gráfica presentan picos, estos se deben a las contrataciones de servicios externos de mantenimiento en el mes de junio. Dentro de los datos más significativos, el costo de la hora hombre de mantenimiento está por el rango de los \$4.639,8 pesos, los costos de mantenimiento tienen un peso del 16% sobre los costos totales, los costos de materiales representan el 43% del costo total, de los cuales las tuberías y ángulos tienen el mayor porcentaje de participación con el 25%. Por último, los servicios externos representan el 41% de los costos totales siendo la mayoría, el trabajo especializado.

El costo total acumulado abril-julio del mantenimiento por unidad procesada es de \$17.002 pesos.

Gráficos de Paradas por Módulo

Análisis

Respecto a las paradas registradas para el módulo CPO, se han detectado las paradas programadas más comunes, para este caso se trata del mantenimiento programado con un peso del 51% del total de paradas consolidadas en el intervalo de tiempo.

En cuanto a paradas no programadas las paradas operativas son el mayor causante de paradas en la producción, muchas de ellas se deben al desarrollo de trabajos dentro de la planta, cambio de líneas de producción o cambios de remolques ya sean de raquis o cuesco. Es necesario desarrollar un plan de operaciones con el fin de disminuir la cantidad de paradas en la planta.

Para el modulo RAC, las paradas programadas más reinicidentes son los mantenimientos programados con un peso de 85%, respecto a este valor hay que considerar si se está reincidiendo muy seguido en el mantenimiento programado y si realmente está siendo efectivo. Por otro lado, las paradas no programadas reinciden las paradas por capacidad, mas específicamente por falta de lodos en los tanques alimentadores de las centrifugas, aunque no son muy frecuentes.

Por último, el módulo RAL presenta mayor reincidencia en paradas programadas del tipo mantenimiento programado aunque en menor cantidad que los dos módulos anteriores. Por otro lado, la cantidad de eventos no programados del tipo paradas operativos es muy alta, por lo tanto es importante analizar qué tipos de situaciones están sucediendo para justificar esta cantidad de eventos.

7.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS CONSOLIDADOS EN PLANTA DE BENEFICIO 2

La información generada por CeniSiiC comprende el intervalo de fechas del 24 de julio hasta el 3 de agosto del presente año. A continuación se expone el análisis de los informes, donde se puede apreciar el estado actual de la gestión del mantenimiento de la planta de beneficio. Para el caso del reporte de costos hay que aclarar que en el aplicativo CeniSiiC se introdujeron solo datos de fruto procesado en lo transcurrido del año 2012, es decir, no hay información de paradas desde enero hasta el momento en que se inicio la implementación, esto se hizo con el fin de generar el consolidado anual de costos de mantenimiento según la fruta procesada, por eso se debe ignorar el consolidado anual del módulo CPO ya que esa información no existe.

Tabla 9. Análisis de reportes PB 2

Grafico	Análisis
Reporte Detalles de Paradas. Generado por CeniSiiC	<p>En el pequeño intervalo de tiempo en el que se analiza la información capturada, se expone un buen rendimiento por parte del módulo CPO, el cual alcanza un índice del 97%, sin embargo hay que aclarar a que sólo se obtuvieron datos para nueve días de tal manera que no se puede anticipar para definir el estado real de la planta. La disponibilidad de la planta en ese módulo se podría decir que cumple con los que se especula para una planta de beneficio, en general la planta tiene un OEE del 70,8%, según este examen preliminar se ofrece un panorama donde se crea una brecha de oportunidades de mejora.</p> <p>Durante la ejecución del proyecto no se realizaron labores de mantenimiento programado, por lo tanto no se puede definir el indicador MTBP. En cuanto al indicador</p>

MTBF (intervalo tiempo medio entre fallas) no se puede decir si realmente las labores de mantenimiento son buenas o ineficientes, dado que la planta de beneficio sólo opera de lunes a viernes de 8 a 10 horas, se podría decir que las fallas ocurren semanalmente, aun así los datos son muy pocos para definir el estado de la gestión del mantenimiento. Para el módulo RAC y RAL las paradas si son más frecuentes.

En general los equipos muestran una excelente disponibilidad para el caso de los tres módulos, esto se debe a que los tiempos de producción programados para procesar el fruto son cortos ya que existía cierta escasez de fruto cosechado.

Costos de Mantenimiento. Generado por CeniSiiC

En cuanto a los datos de costos se puede apreciar un comportamiento estable en el precio de mantenimiento por unidad procesada (\$5.463,3), los meses consolidados abarcan enero a junio.

En cuanto a costos de mano de obra, el costo no es muy variable dado que sólo se cuenta con una persona para ejecutar plenamente las labores de mantenimiento, la variación del costo que se muestra en la gráfica del consolidado anual corresponde a la cantidad de horas extras trabajadas en el mes. Los costos de materiales contribuyen con la mayor parte del costo total de mantenimiento, con un peso del 70% los materiales más usados según el diagrama de Pareto es la categoría de otros, donde se considera todos los materiales dirigidos a mantenimiento para vagonetas.

Los datos de servicios externos sólo tienen una participación del 10% de los costos totales de mantenimiento, donde la mayoría son labores del tipo especializado.

Gráficos de Paradas por Módulo

Análisis

Los gráficos de análisis de paradas muestran un panorama preliminar del estado actual de la planta, para módulo CPO las paradas programadas corresponden a los arranques y paradas de proceso, debido a que la planta opera en turnos de 8 a 10 horas, siempre se debe destinar un tiempo para la generación del vapor del proceso. Para los eventos no programados se muestran paradas por falta de fruto, esto debe atribuirse a los tiempos de cosecha.

Las paradas en el módulo RAC fueron muy pocas durante la captura de información que posteriormente fue introducida en CeniSiiC. Se puede esperar que este módulo sea el más confiable, ya que la planta cuenta con un tridencater para recuperar el aceite, este equipo tiende a ser muy confiable aplicando correctamente los mantenimientos programados. Por último, el modulo RAL presenta un comportamiento similar al módulo CPO, donde las paradas programadas por arranque y parada del proceso son las más frecuentes, mientras que en los eventos no programados predominan las paradas operativas, la mayoría de estas paradas son consecuencia del tiempo muerto mientras el operario está en su hora de almuerzo.

7.3 INTERPRETACIÓN DE DATOS CONSOLIDADOS EN PLANTA DE BENEFICIO 3

Los reportes generados por CeniSiiC comprenden las fechas del 10 de abril hasta el 15 de agosto, la cual fue la última fecha en la que se visitó la planta extractora, los reportes generados (ver anexos), son una imagen del estado actual del estado de la planta, los anteriores reportes contienen información y datos tanto del área de mantenimiento como del área de producción con base a los indicadores obtenidos se puede interpretar lo siguiente

Tabla 10. Análisis de reportes PB 3

Grafico	Análisis
Reporte Detalles de Paradas. Generado por CeniSiiC	<p>El índice de eficiencia general de equipos (OEE) no es bueno para el caso de los tres módulos de producción, dado que el índice es inferior al promedio general para una planta de beneficio en Colombia, el cual se estima debería estar rondando por el orden del 70%. Dentro de las principales causas de un OEE tan bajo en la planta de beneficio (31,8% módulo CPO, 19,5% módulo RAC, 38,5% módulo RAL) se encuentra que la disponibilidad afectó de manera considerable la eficiencia de la planta, esto se debe a que en los meses de abril, mayo y julio la empresa tuvo problemas de desabastecimiento de fluido eléctrico a causa del mal estado de la red local, además la planta no contaba con una planta eléctrica para emergencias, por lo tanto existieron largos periodos de tiempos improductivos.</p> <p>Según el comportamiento de los indicadores MTBF, las intervenciones de mantenimiento suceden de manera muy seguida, es decir, las medidas que se toman son</p>

deficientes a nivel de la planta. Es probable que la cantidad de reparaciones se deban a la antigüedad de los equipos y a la carencia de un sistema de mantenimiento integrado en la planta, por lo tanto, la mayoría de las intervenciones son del tipo correctivo y no se dejan los espacios de tiempos necesarios para poner a punto los equipos de la planta.

Los tiempos medio en atención a fallas (MTTR), demuestran ser cortos; sin embargo, las intervenciones no resultan ser muy efectivas, por lo que se reitera muy seguido en mantenimientos correctivos, a falta de intervenciones efectivas, el comportamiento del indicador MTBF cada vez será más deficiente y por lo tanto, las prácticas de mantenimiento.

Costos de Mantenimiento. Generado por CeniSiiC

En cuanto a costos de mantenimiento, la planta proporcionó la información pertinente a costos de mano de obra, salidas de materias y servicios externos, en el gráfico (ver anexo 12) se tiene información del mes de Abril a Junio.

En cuanto a mano de obra, se presencia un comportamiento estable, en el mes de mayo se incorporó una persona más a mantenimiento, lo cual hace que baje un poco el costo de la hora hombre, el costo total de mano de obra de mantenimiento para los tres meses es estable y ronda por los \$4.800 pesos, el peso de participación de la mano de obra en los costos totales es de un 20%.

Respecto a salidas de materiales de mantenimiento, este es el rubro con mayor peso en los costos, casi la mitad

del costo de mantenimiento (44%) se amerita a materiales, esto se debe a que la planta se encuentra en expansión, lo que hace que se consuman más materiales, es por eso que el diagrama de Pareto muestra un peso del 33% en tuberías y ángulos, la mayoría dirigidas a labores de construcción.

El 36% de los costos totales de mantenimiento, pertenece a los servicios externos prestados durante los tres meses, hay que aclarar que muchos trabajos de estos están dirigidos a la ampliación de la planta, ya sean trabajos directos o indirectos.

Gráficos Análisis
de Paradas por Módulo

Dentro de las paradas no programadas se puede apreciar que la mayor cantidad de paradas registradas son paradas por capacidad, el principal problema en la planta era la capacidad instalada para esterilizar fruto dado que era muy baja y se sumaba que no existía un control de tiempos entre baches, de esta manera la prensa procesaba toda la fruta antes de que el siguiente bache estuviese cocido, de esta forma se creaban periodos de tiempos muertos en los que las prensas permanecían en stand-by.

A diferencia de los otros dos módulos, en el módulo CPO las fallas por suministro de energía eléctrica eran menos, la razón, cuando la calidad de la energía era deficiente sólo se suministraba el servicio en al área de digestión y prensado, dejando las otras áreas de la planta inactiva hasta que se normalizara la red eléctrica, esto se hacía con el fin de garantizar la producción de aceite rojo.

En el módulo RAC, las principales causas de paradas no programadas son las operativas y las fallas por energía eléctrica, las fallas operativas corresponden a atascamientos en las boquillas de la centrífuga, mientras que las fallas por electricidad eran a causa a la mala calidad de la red eléctrica, además de que no se contaba con planta eléctrica de emergencia.

En las paradas programadas se denota un comportamiento similar, la mayor causa se debe a limpieza, cabe resaltar que muchas de las paradas por limpieza no duran más de 15 minutos, aun así por la cantidad de paradas se refleja en la disponibilidad de la planta.

En el módulo RAL sucede lo mismo que los módulos anteriores en cuanto a paradas programadas la parada más frecuente es por limpieza. Generalmente el hidrociclón es limpiado en la planta de 2 a 3 veces por día, aproximadamente la limpieza del tanque dura 45 minutos o hasta una hora.

En cuanto paradas no programadas, lo más frecuente en el área de recuperación de almendra era la ausencia de energía eléctrica, sumado a esto la capacidad de los silos era mucho menor para la cantidad de almendra generada del proceso de extracción de aceite, por lo tanto existían tiempos muertos donde se dejaba de procesar debido a que no había capacidad para almacenar la almendra.

7.4 INTERPRETACIÓN DE DATOS CONSOLIDADOS EN PLANTA DE BENEFICIO 4

La implementación del aplicativo CeniSiiC se empezó a desarrollar desde el 11 de junio, sin embargo se tienen datos tanto del módulo CPO como de descripción de costos durante lo transcurrido del año 2012. Esta información se incluyó en el software con el fin de registrar datos históricos, y de cierta forma empezar a marcar tendencia en valores importantes para la evaluación del desarrollo de las prácticas de mantenimiento como lo es para el caso de costo de mantenimiento por unidad de fruto procesado de igual forma se obtiene la evolución de lo que va del año en cuanto a indicadores de mantenimiento. A continuación se brinda el análisis de la información generada desde el 1 de enero de 2012 hasta el 18 de agosto del presente año.

Tabla 11. Análisis de reportes PB 4

Grafico	Análisis
Reporte Detalles de Paradas. Generado por CeniSiiC	El informe generado por CeniSiiC muestra una variación considerable en el comportamiento de los tres módulos instalados en la planta, el módulo CPO tiene un OEE del 66% el cual supera el rango esperado por una planta de beneficio en Colombia que debe rondar entre 60% a 70%, no es el valor más favorable pero sin duda alguna ofrece un panorama amplio de oportunidades de mejora, dentro de los ítems de mejora está el ejercer un mayor control sobre las intervenciones de mantenimiento programado, de esta forma la empresa puede ahorrar gastos en mantenimientos no programados futuros, confiabilidad y disponibilidad de equipos, de esta manera se ataca directamente las falencias en rendimiento y disponibilidad, factores que son fundamentales para calcular el OEE. El indicador OEE para el módulo RAC y RAL no es el más

favorable, en el caso de RAL el problema radica en la disponibilidad de la planta en esta sección, mientras que en el módulo RAC el problema radica en el rendimiento de la centrífuga. La causa de estos problemas pueden ser varias, sin embargo existen varias oportunidades de mejoras tales como la dosificación correcta de materia prima a procesar o la ejecución correcta de trabajos de mantenimiento.

Según el intervalo MTBF (Tiempo medio entre fallas), se aprecia los claros problemas en las labores de mantenimiento, el valor enseña que se está incurriendo en fallas muy seguidas en los tres módulos, esto se debe a las malas intervenciones de mantenimiento o a la falta de programación para la ejecución de eventos en la planta. A pesar que el intervalo de tiempo de mantenimiento programado (MTBPM) es muy corto, se puede decir que el mantenimiento se realiza periódicamente, sin embargo no es lo suficientemente efectivo. Por último el indicador MTTR (Tiempo de acción a falla) también es crítico, las intervenciones son muy largas e incluso en el módulo RAL se aprecia intervenciones que pueden durar casi toda una jornada laboral.

En general, los equipos ofrecen una buena disponibilidad para el caso de los tres módulos, lo que sugiere que la mayoría de paradas puede ser generada por causas humanas y/o exceso de paradas programadas.

Costos de Mantenimiento. Generado	El costo total de mantenimiento por unidad procesada en la planta de beneficio es muy alto, se promedia costo de
--	--

<p>por CeniSiiC</p>	<p>\$47.222 por tonelada de RFF procesada, la mitad de éste perteneciente a materiales.</p> <p>En cuanto a costos de mantenimiento, la planta proporcionó la información pertinente a costos de mano de obra, salidas de materias y servicios externos, en el gráfico (ver anexo 17) se tiene información del mes de enero a julio.</p> <p>En cuanto a mano de obra, se presencia un comportamiento estable, en el mes de enero y marzo se observa unos picos en las curvas del costo de mantenimiento, probablemente por tareas de ampliación se incurrió en el aumento de horas extras, el costo total de mano de obra de mantenimiento para la planta ronda por los \$4.900 pesos, el peso de participación de la mano de obra en los costos totales es de un 5%.</p> <p>Respecto a salidas de materiales de mantenimiento, éste es el título con mayor peso en los costos, más de la mitad del costo de mantenimiento (53%) se amerita a salida de materiales, esto se debe a que la planta se encuentra en ampliación, en el momento de la ejecución del proyecto y el acople de la información a CeniSiiC se incorporaron datos referentes a mantenimiento a piscinas de oxidación.</p>
<p>Gráficos Análisis de Paradas por Módulo</p>	<p>En el módulo CPO, las principales paradas de mantenimiento programado son a causa de paradas y arranques de procesos, en ese orden respectivamente, el dato es lógico dado que la planta de beneficio opera normalmente 10 horas al día, por lo tanto al día siguiente se pierde</p>

un tiempo mientras se enciende calderas. La razón por la cual la cantidad de eventos por arranque son menores que los de finalización del proceso es porque en algunas ocasiones se programa pre-arranque. El diagrama de Pareto para eventos de parada no programada muestra una tendencia a las fallas de equipos por módulo, por lo tanto se puede interpretar las malas labores de mantenimiento que se están ejecutando en la PB.

El peso de eventos programados es de un 68% contra un 32% de no programados, es posible que exista un excedente en trabajos programados.

En cuanto al módulo RAC y RAL, presentan un comportamiento similar al CPO, sin embargo los datos para RAC y RAL son de pocos días, por lo tanto estos datos no son lo suficientemente concluyentes para diagnosticar el estado de la planta. Pero se marca una tendencia similar, mayor cantidad de eventos programados, reincidencia en paradas de arranque y finalización del proceso junto con fallas en equipos por módulos.

8 RESUMEN DE LO APRENDIDO

Se estudiaron diversos temas en cuanto a la producción de aceite de palma y la evolución de la agroindustria, de la misma forma se profundizó en un tema muy interesante como lo es el mantenimiento, el cual es primordial para la industria de cualquier tipo, de igual manera se aprendió sobre los sistemas de gestión de mantenimiento asistido por computadora (CMMS).

En cuanto a la agroindustria, se logró identificar claramente las áreas básicas y comunes en una planta de beneficio para producir el aceite de palma, cabe resaltar que a pesar que en las cuatro plantas de beneficio donde se desarrolló el proyecto su producto final es el mismo; las condiciones de trabajo cambian conforme a la ubicación de las plantas y primordialmente la disponibilidad de materia prima.

Dentro del proceso productivo, se identificó que a pesar de que muchos procedimientos dentro de la planta se encuentran estandarizados, muchas plantas no siguen al pie de la letra lo que dice la normatividad, ya que muchas de ellas se adaptan a cambios, dependiendo de la disponibilidad de recursos de cada planta, por eso es muy común ver las diferencias claras entre plantas con los mismos equipos trabajar de manera distintas, y por ende obtener resultados diferentes, ya sean que se reflejen en la calidad del producto final, tiempos de producción y/o rendimiento de la planta de beneficio. Cabe decir que la experiencia permite conocer la realidad de la industria colombiana e identificar la enorme brecha y limitantes entre la industria actual comparada con la industria de otros gremios.

CONCLUSIONES

- Durante la práctica empresarial se logró implementar la metodología propuesta por Cenipalma, para el seguimiento de la gestión de información del mantenimiento y confiabilidad de plantas de beneficio de la Zona Oriental. En el caso personal se logró llevar el modelo a cuatro plantas de beneficio distribuidas a lo largo de la zona Oriental.
- Se logró socializar y capacitar al personal dispuesto por las cuatro plantas de beneficio en la metodología a seguir en cuanto a gestión del mantenimiento, dependiendo del área laboral en la que se desempeña cada uno del personal en la planta. Los operarios de los equipos con alta criticidad y el equipo de mantenimiento, adquirieron el conocimiento necesario para diligenciar la información necesaria para alimentar el sistema de mantenimiento. En las cuatro plantas de beneficio el aplicativo CeniSiiC quedó instalado y en correcto funcionamiento.
- Específicamente en el área de mantenimiento se halló que principalmente la mayoría de plantas no poseen programas de mantenimiento que permitan garantizar el proceso continuo de una planta de beneficio. Dado a la falta de este tipo de programas, la mayoría de mantenimientos son del tipo correctivos, los cuales influyen en costos indirectos para la planta ya que se incurre muchas veces en gastos de mano de obra (siempre se realizan trabajos los fines de semana, incurriendo muy seguidamente en el pago de horas extras), materiales que si bien son usados, muchas veces se toman medidas que no son las más indicadas para solucionar los problemas que se presentan en el momento de la falla.
- Se presentan los análisis por medio de CeniSiiC con la información disponible en el momento los cuales se pueden apreciar en la sección de anexos.

- Se realiza el correspondiente análisis donde se puede concluir que la mayoría de mantenimientos son del tipo correctivos, los cuales influyen en costos indirectos para la planta ya que se incurre muchas veces en gastos de mano de obra (siempre se realizan trabajos los fines de semana, incurriendo muy seguidamente en el pago de horas extras), materiales que si bien son usados, muchas veces se toman medidas que no son las más indicadas para solucionar los problemas que se presentan en el momento de la falla.
- A partir de los valores generados del primer diagnostico realizado por Ceni-SiiC, se pueden apreciar comportamientos similares entre las plantas, en cuanto a la disponibilidad de los equipos, tiende a permanecer estable por el rango del 70%, esto quiere decir que los equipos en casi tres cuartas partes del tiempo están en condiciones ideales para procesar.
- Se observan rendimientos muy variables, oscilan entre el 32% y el 92%, siendo mejor el presentado por la PB2.
- En cuanto a eficiencia general de los equipos se obtienen valores finales entre el 70,8% y el 27,6%, estos valores son inaceptables bajo la norma WCM, la razón puede n ser entre muchas, equipos obsoletos, calidad de fruta, trabajos de mantenimiento ineficaces, son las que se presentan más a menudo.
- En cuanto indicadores de mantenimiento se observa un comportamiento similar entre plantas. Aproximadamente cada 50 horas se ejecutan labores de mantenimiento preventivo, sin embargó el promedio de fallas es cada 42.3, es decir, para las plantas que trabajan 24 horas, día por medio ocurren fallas que pueden durar entre 3 y 4 horas, estas paradas son tiempos muertos de producción que por ende, reducirán la disponibilidad de la planta.
- Finalmente hay que recordar que estos datos provienen de un análisis previo, una vez terminada la etapa de implementación del software, se deberá

dejar transcurrir un tiempo para identificar los problemas específicos que presenta cada planta para entrar a corregirlo.

- Por último se establecen los medios de comunicación como la vía celular o vía correo electrónico, como los sistemas para realizar la retroalimentación de información generada en la planta una vez terminada la implementación de la gestión del mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BHPbillion. (n.d.). KPI - Key Production Indicators.
- [2] Buenahora Paez, J., & Díaz Rangell, C. A. (2012). *ESTRUCTURACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN METODOLOGÍA RCM Y EN EL APLICATIVO ERP CeniSiiC CENIPALMA/FEDEPALMA PARA EL MEJORAMIENTO DE INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD Y CONFIABILIDAD DEL MANTENIMIENTO EN PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- [3] CENIPALMA. (2011, Junio 26). *CENIPALMA*. Retrieved Agosto 20, 2012, from Investigacion e Innovacion Tecnologica en Palma de aceite: www.cenipalma.org
- [4] DEPARTAMET OF INDUSTRIAL WORKS. (2006). *Management Information System - Guideline for Eco-efficiency*. Tailandia.
- [5] FEDEPALMA. (2008). *PROCESOS MODERNOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA*. (G. Cala Gaitán, & G. Bernal Castillo, Eds.) Bogotá D.C., Colombia: Fedepalma, Sena, SAC y Fondo de Fomento Palmero.
- [6] FEDEPALMA. (2011). *Anuario Estadístico*. Bogota, D.C., Colombia: Fedepalma - Fondo de Fomento Palmero.
- [7] Guitiérrez, A. M. (2012). *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Medellin, Colombia: Coldi Limitada.
- [8] Lifetime Reliability Solutions. (2010). *Useful Key Performance Indicators for Maintenance*. Rossmoyne, wa, Australia.
- [9] Nazim Baluch, C. S. (2010). Maintenance Management Performance - An Overview towards evaluating Malaysian Palm Oil Mill. *The Asian Journal of Technology Management*, Vol 3. No. 1 - 4.

ANEXOS

- Anexo 1: Gráficos Detalles de Paradas. Generados por CeniSiiC PB 1
- Anexo 2: Gráficos Costos de Mantenimiento. Generado por CeniSiiC PB 1
- Anexo 3: Gráficos Análisis de paradas modulo CPO PB 1
- Anexo 4: Gráficos Análisis de paradas modulo RAC PB 1
- Anexo 5: Gráficos Análisis de paradas modulo RAL PB 1
- Anexo 6: Gráficos Detalles de Paradas. Generados por CeniSiiC PB 2
- Anexo 7: Gráficos Costos de Mantenimiento. Generado por CeniSiiC PB 2
- Anexo 8: Gráficos Análisis de paradas modulo CPO PB 2
- Anexo 9: Gráficos Análisis de paradas modulo RAC PB 2
- Anexo 10: Gráficos Análisis de paradas modulo RAL PB 2
- Anexo 11: Gráficos Detalles de Paradas. Generados por CeniSiiC PB3
- Anexo 12: Gráficos Costos de Mantenimiento. Generado por CeniSiiC PB 3
- Anexo 13: Gráficos Análisis de paradas modulo CPO PB 3
- Anexo 14: Gráficos Análisis de paradas modulo RAC PB 3
- Anexo 15: Gráficos Análisis de paradas modulo RAL PB 3
- Anexo 16: Gráficos Detalles de Paradas. Generados por CeniSiiC PB 4
- Anexo 17: Gráficos Costos de Mantenimiento. Generado por CeniSiiC PB 4
- Anexo 18: Gráficos Análisis de paradas modulo CPO PB 4
- Anexo 19: Gráficos Análisis de paradas modulo RAC PB 4
- Anexo 20: Gráficos Análisis de paradas modulo RAL PB 4
- Anexo 21: Tabla de nomenclaturas estandarizadas
- Anexo 22: Formato ordenes de trabajo
- Anexo 23: Formato registro de paradas