

**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO APLICADO A LA PLANTA  
EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AGROINCE LTDA Y CIA S.C.A**

**ROMAN ALBERTO SARMIENTO FERREIRA  
JESUS SEBASTIAN ESTEBAN PARDO  
CESAR LEONARDO MAYORGA MOJICA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2015**

**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO APLICADO A LA PLANTA  
EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AGROINCE LTDA Y CIA S.C.A**

**ROMAN ALBERTO SARMIENTO FERREIRA  
JESUS SEBASTIAN ESTEBAN PARDO  
CESAR LEONARDO MAYORGA MOJICA**

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: HELÍ MAURICIO MENESES RODRIGUEZ  
Ingeniero Químico  
Especialista en Alta Gerencia**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2015**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Helí Mauricio Meneses Rodríguez, ingeniero químico director de la planta extarctora de aceite de palma Agroince Ltda y Cia S.C.A, por su colaboración y guía oportuna durante el desarrollo de esta monografía.

A los directores de la planta de beneficio y compañeros de trabajo en Agroince Ltda y Cia S.C.A.

A mis familiares y allegados que han impulsado desde el inicio del programa todo mi desarrollo en este posgrado.

Román Alberto Sarmiento Ferreira

Jesús Sebastián Esteban Pardo

Cesar Leonardo Mayorga Mojica

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. CONTEXTO OPERACIONAL AGROINCE LTDA. Y CÍA. S.C.A.	20
1.1. HISTORIA DE LA ORGANIZACIÓN	20
1.2. CONSTITUCIÓN	21
1.3. OBJETO SOCIAL DE LA EMPRESA	21
1.4. UBICACIÓN	22
1.5. PRODUCTOS Y COMERCIALIZACIÓN	23
1.6. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	23
1.7. ALCANCES Y METAS	24
1.8. DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	24
2. MARCO TEORICO	25
2.1. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	25
2.1.1. La Primera Generación	26
2.1.2. La Segunda Generación.	26
2.1.3. La Tercera Generación.	27
2.1.4. Nuevas expectativas.	27
2.1.5. Nuevas Investigaciones.	30
2.1.6. Los desafíos que enfrenta el mantenimiento.	32
2.1.7. Mantenimiento y RCM.	33
2.1.8. RCM: Las siete preguntas básicas.	34
2.1.9. Funciones y niveles de desempeño.	34
2.1.10. Fallas funcionales.	35

2.1.11. Modos de fallas.	36
2.1.12. Efectos de las fallas.	37
2.1.13. Consecuencias de las fallas.	37
2.1.14. Proceso de selección de tareas de RCM	44
2.1.15. Aplicación del proceso de RCM	47
2.1.16. Planificación	47
2.1.17. Grupos de revisión.	47
2.1.18. Facilitadores.	49
2.1.19. Resultados del análisis de RCM.	50
2.1.20. Auditorías e implementación.	50
2.1.21. Que logra el RCM.	51
2.2. COMBINACION DE TPM Y RCM	54
2.2.1. Los Principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM).	54
2.2.2. Los pilares básicos del TPM y algunas ideas sobre su relación con el RCM	56
2.2.3. La combinación del TPM y del RCM.	60
3. PROCESO DE BENEFICIO EN LA PLANTA EXTRACTORA AGROINCE LTDA Y CIA S.C.A.	61
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	61
3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	61
3.2.1. Sección Recepción	61
3.2.2. Sección Esterilización.	62
3.2.3. Sección de Desfrutamiento.	63
3.2.4. Sección de Prensado.	64
3.2.5. Sección Clarificación.	65
3.2.6. Sección de Desfibrado	67
3.2.7. Sección Trituración	68
3.2.8. Sección Secado Y Almendra	69

3.2.9. Sección de Extracción Palmiste	70
3.2.10. Sección Molienda.	71
3.2.11. Sección De Tamizado Y Filtrado.	71
3.2.12. Sección Generación de Vapor.	72
3.2.13. Sección de Despachos.	73
3.2.14. Sección de Planta y Red Eléctrica	73
3.2.15. Sección de Acueducto y Tratamiento de Aguas.	74
3.3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION A TRAVES DE FICHAS TECNICAS Y HOJAS DE VIDA DE LOS EQUIPOS	74
3.3.1. Realizar Tomas De Datos A Equipos Para Su Información.	77
3.3.2. Realizar Formatos de Procedimientos de Trabajos de los Equipos.	79
3.3.3. Organizar Rutinas De Mantenimiento De Los Equipos	88
3.3.4. Diligenciar Las Fichas Técnicas Para Cada Equipo	88
3.4. EL INVENTARIO TÉCNICO DE EQUIPO.	89
3.5. CÓDIGOS ASIGNADOS POR SECCIÓN	89
3.5.1. Codificación general de equipos.	90
3.6. CLASIFICACIÓN DE MATERIA PRIMA.	92
3.7. BASE DE DATOS PARA EL SOFTWARE DE MANTENIMIENTO CENISIIC.	93
3.7.1. Historial De Los Equipos.	96
4. PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE AGROINCE LTDA. Y CÍA. S.C.A.	97
4.1. FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DE CRITICIDAD	98
4.2. MODELO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD EQUIPOS AGROINCE LTDA Y CIA S.C.A	102
4.3. EQUIPOS EN MANTENIMIENTO CORRECTIVO	104
4.3.1. Mantenimiento Correctivo.	104
4.3.2. Aspectos de aplicación de mantenimiento correctivo en la planta.	105
4.3.3. Equipos En Mantenimiento Correctivo	106

4.4. EQUIPOS EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	108
4.4.1. Mantenimiento Preventivo.	108
4.4.2. Aspectos de aplicación de mantenimiento preventivo en la planta.	109
4.4.3. Equipos incluidos en mantenimiento preventivo.	110
4.4.4. Programa de acciones preventivas	111
4.5. EQUIPOS EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO	111
4.5.1. Mantenimiento Predictivo.	111
4.5.2. Aspectos de aplicación de mantenimiento predictivo en la planta.	114
4.5.3. Equipos incluidos en mantenimiento predictivo.	114
4.5.4. Programa de acciones bajo mantenimiento predictivo	114
4.6. RCM	115
4.7. TPM	118
4.7.1. Programa de acciones para TPM.	118
4.8. INDICADORES	119
5. CONCLUSIONES	120
6. RECOMENDACIONES	122
BIBLIOGRAFÍA	126
ANEXOS	128

## LISTA DE TABLA

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Ficha técnica de equipos. ....	75
Tabla 2. Historia de los equipos.....	76
Tabla 3. Formato permiso de trabajo. ....	80
Tabla 4. Formato de orden de trabajo.....	82
Tabla 5. Formato de análisis general de riesgos por oficio. ....	83
Tabla 6. Formato de encuesta de análisis de criticidad. ....	87
Tabla 7. Ficha técnica de la bomba de aceite húmedo. ....	88
Tabla 8. Códigos asignados para cada una de las secciones de la planta extractora. ....	89
Tabla 9. Clasificación general de códigos por equipos .....	90
Tabla 10. Códigos por clasificación de materia prima.....	92
Tabla 11. Modelo Propuesto de Matriz de Criticidad para el Caso. ....	101
Tabla 12. Análisis de Criticidad.....	102
Tabla 13. Equipos mantenimiento correctivo .....	106
Tabla 14. Equipos incluidos en mantenimiento preventivo. ....	110
Tabla 15. Acciones preventivas equipo hidrociclón. ....	111
Tabla 16. Equipos con aplicaciones de mantenimiento predictivo.....	114
Tabla 17. .Equipos Críticos.....	115
Tabla 18. Análisis FMECA Puente Grúa.....	117

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación Geográfica de la planta.....	22
Figura 2. Crecientes expectativas en el mantenimiento.....	28
Figura 3. Una visión cambiante sobre las fallas en los equipo .....	30
Figura 4. La tradicional visión de las fallas .....	39
Figura 5. 6 patrones de fallas.....	41
Figura 6. Un grupo Tipo de revisión de RCM.....	49
Figura 7. Sección recepción. ....	61
Figura 8. Esquema de la sección de recepción. ....	62
Figura 9. Sección esterilización. ....	63
Figura 10. Sección Desfrutamiento.....	63
Figura 11. Sección prensado. ....	64
Figura 12. Esquema de la sección de Prensado.....	65
Figura 13. Sección clarificación. ....	65
Figura 14. Esquema de la sección de Clarificación .....	66
Figura 15. Sección desfibrado .....	67
Figura 16. Sección trituración. ....	68
Figura 17. Sección secado y almendra.....	69
Figura 18. Sección de extracción palmiste .....	70
Figura 19. Esquema de la sección de palmistería .....	70
Figura 20. Sección molienda.....	71
Figura 21. Sección de tamizado y filtrado. ....	71
Figura 22. Sección generación de vapor. ....	72
Figura 23. Sección despachos.....	73
Figura 24. Sección de planta y red eléctrica. ....	73

Figura 25. Sección de acueducto y tratamiento de aguas. ....	74
Figura 26. Motor y bomba de lodos florentinos. ....	77
Figura 27. Placa del motor de lodos florentinos. ....	78
Figura 28. Placa de la bomba de lodos florentinos. ....	78
Figura 29. Guía de codificación de equipos. ....	93
Figura 30. Plataforma de CeniSiiC. ....	94
Figura 31. Ficha técnica. ....	95
Figura 32. Historial de intervenciones por equipo. ....	96
Figura 33. Matriz de criticidad. ....	100
Figura 34. Procedimiento para mantenimiento predictivo .....	113

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A Estudio completo de criticidad.

Anexo B Acciones preventivas equipos en mantenimiento preventivo.

Anexo C FMECA equipos críticos.

Anexo D Indicadores.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**5W-2H:** abreviatura de una metodología para Análisis de Causa Raíz (RCA), que consiste en realizar diversas preguntas hasta llegar a la causa raíz del problema.

**CAP:** (en inglés, capabilities assessment process). Proceso de capacitación y entrenamiento de personal en las organizaciones.

**Estearina:** es una fracción más sólida del proceso de refinación de aceite crudo de palma y sirve para producir grasas, principalmente margarinas y jabones.

**GAP:** brecha o no conformidad detectada luego de realizar una auditoría o revisión.

**Ibíd.:** Ibídem (del latín ibídem, abreviado ib. o ibíd.). Significa en el mismo lugar y se usa en las citas o notas de un texto para referir a una fuente que ya fue declarada en la cita previa.

**Mesocarpio:** es la parte carnosa del fruto que aloja la fuente de aceite crudo de palma, éste envuelve el endocarpio (cuesco) que a su vez protege a la nuez (que contiene a la almendra de donde se extrae aceite de palmiste).

**Oleína:** es una fracción líquida del proceso de refinación de aceite crudo de palma. Se puede mezclar con cualquier aceite vegetal.

## RESUMEN

**TITULO:** Diseño de un programa de mantenimiento aplicado a la planta extractora de aceite de palma Agroince Ltda y Cia S.C.A<sup>\*</sup>

**AUTOR (ES):** ROMÁN ALBERTO SARMIENTO FERREIRA, JESÚS SEBASTIAN ESTEBAN PARDO, CESAR LEONARDO MAYORGA MOJICA<sup>\*\*</sup>

**PALABRAS CLAVES:** RCM, TPM, Matriz RAM, ERP CeniSiiC, plan de mantenimiento, plantas extractoras

**DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:** La siguiente monografía consiste en el diseño de un programa de mantenimiento aplicado a la planta extractora de aceite de palma Agroince Ltda y Cia S.C.A. La información necesaria para estructurar el proyecto será suministrada por la empresa desde las hojas de vida de los equipos, aplicativos y actual plan de mantenimiento. El diseño del plan de mantenimiento tendrá como base las metodologías de mantenimiento productivo total (TPM) y mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) lo cual constituye la fase preliminar de formulación e implementación de la propuesta de mantenimiento.

El proceso de recolección de información se realizará a partir del ERP CeniSiiC y hoja de vida de los equipos mediante la consolidación y análisis de la información.

El diseño integrará un análisis de criticidad basado en la matriz RAM para determinar el estado actual de operación, a su vez se identificarán los modos, efectos y causas de falla de los equipos con el objetivo de establecer una estrategia de mantenimiento adecuada para cada equipo. Se propondrán los diversos indicadores de mantenimiento, producción y confiabilidad, para gestión, control y mejora continua.

El alcance de esta monografía está delimitado hasta la fase de diseño sobre la cual se establecerá el plan de mantenimiento.

Adicionalmente se diseñará una estrategia de implementación del plan de mantenimiento basado en la estructura descrita en este documento; esta estrategia permitirá visualizar las variables presentes en el entorno de mantenimiento para luego analizarlas e integrarlas a la estructura presentada.

---

<sup>\*</sup> Trabajo de grado

<sup>\*\*</sup> Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Helí Mauricio Meneses Rodríguez

## SUMMARY

**TITLE:** Design of a maintenance program applied to the extraction plant palm oil Agroince Ltda and Cia S.C.A

**AUTHORS:** ROMÁN ALBERTO SARMIENTO FERREIRA, JESÚS SEBASTIAN ESTEBAN PARDO, CESAR LEONARDO MAYORGA MOJICA\*\*

**KEYWORDS:** RCM, TPM, Matrix RAM, ERP CeniSiiC, program of maintenance, extraction plants

**SUBJECT OR DESCRIPTION:** The below monograph is to design a maintenance program applied to the extraction plant palm oil Agroince Cia Ltda and SCA The information needed to structure the project will be provided by the company from the resumes of equipment, applications and current maintenance plan. The design of the maintenance plan will be based methodologies Total Productive Maintenance (TPM) and reliability centered maintenance (RCM) which is the preliminary stage of formulation and implementation of the proposed maintenance.

The process of information gathering will be held from ERP and resume CeniSiiC equipment by consolidating and analyzing information.

The design will integrate a criticality analysis based on the RAM array to determine the current state of operation, turn modes, effects and causes of equipment failure in order to establish a suitable maintenance strategy for each team are identified. Various indicators of maintenance, production and reliability, for management, control and continuous improvement will be proposed.

The scope of this monograph is bounded to the design phase on which the maintenance plan will be established.

Additionally an implementation strategy maintenance plan based on the structure described in this document will be designed; this strategy will display the variables in the environment maintenance then analyze and integrate the structure presented

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Eli Mauricio Rodriguez Meneses

## INTRODUCCIÓN

Los cambios constantes de la economía del país, la alta competencia de precios en el mercado, la variabilidad que presenta el costo del barril de petróleo, el cumplimiento en los estándares de exportación del producto y la amenaza de posible aparición de cultivos y productos sustitutos en la industria del aceite de palma, condicionan a las empresas del gremio a realizar grandes inversiones para mantener sus niveles de rentabilidad, dando como resultado empresas con grandes costos en el departamento de producción y de mantenimiento, para de esta manera lograr una alta eficiencia y los mejores niveles de extracción de aceite del fruto procesado.

En la empresa AGROINCE LTDA. Y CIA. S.C.A., empresa palmera y de producción de aceite vegetal, existe un departamento de mantenimiento con el principal objetivo de controlar, almacenar, procesar, y presentar las tareas de mantenimiento requeridas en forma oportuna. Sin embargo tanto la compañía como el entorno han sufrido un cambio significativo en los últimos años lo cual hace necesario una renovación de todo el sistema, para de esta manera adecuarse a las circunstancias actuales y tener un mecanismo adecuado a la organización.

De esta manera se desarrollan e implementan una serie de mejoras al plan de mantenimiento actual, adoptando conceptos del RCM (Reliability Centered Maintenance) y del TPM (Total Productive Maintenance) que mejoran las acciones y jornadas de mantenimiento actuales, conformando un desempeño y una eficacia más altos al contar con más herramientas que complementan el sistema ya existente.

De este modo se obtienen rutinas de mantenimiento mejor analizadas y más exactas, establecidas y recomendadas que fomentan en los operarios y personal de mantenimiento una cultura de cuidado y revisión continua sobre los equipos. Además el sistema que presenta reportes para análisis estadístico, basado en los consecuentes indicadores de gestión, de esta manera y con estos resultados se consolidan los criterios TPM en el estudio realizado en la compañía AGROINCE LTDA. Y CIA. S.C.A.

## **1. CONTEXTO OPERACIONAL AGROINCE LTDA. Y CÍA. S.C.A.**

### **1.1. HISTORIA DE LA ORGANIZACIÓN**

Agroindustrias del Sur del Cesar y Cía. S.C.A. (Agroince Ltda. y Cía. S.C.A.) es una empresa que se fundó en el año de 1987, como una necesidad de los cultivadores independientes de la región para procesar el fruto de la palma africana. Inicialmente la compañía no contaba con cultivos propios, no fue sino hasta en 1995 que adquirió 184 hectáreas netas de palma. En sus inicios el fruto fue suministrado por las plantaciones de La Cacica, Promipalma, La Alondra y El Paraíso, entre otros, obteniendo como producto final únicamente el aceite del fruto, pues el proceso de Palmistería no existía.

En el año de 1991 aumenta su capacidad de producción, gracias a la compra de una segunda prensa mono-tornillo de capacidad 4.5 ton/hr <sup>1</sup>. En la primera mitad del año 1992 se instala la sección de palmistería que permite el aprovechamiento de la almendra del fruto de la palma; materia prima para el aceite de palmiste o aceite de almendra.

La expansión más pronunciada no llegó sino hasta el año de 1998 cuando se cambió el sistema de autoclaves y de esta manera se aumenta su nivel de producción considerablemente, además se cambió una prensa mono-tornillo a un doble tornillo con capacidad de prensado de 7 ton/hr, lo cual elevó la producción de la planta a 11.5 ton/hr y aumentó su grado de recepción de fruto. En el año

---

<sup>1</sup> BECERRA BOHORQUEZ., Oscar Rodolfo Sistema de Información Para el Control de Mantenimiento de la Planta Extractora de Aceite de Palma Agroince LTDA. y CIA. S.C.A. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Bucaramanga, Santander, Colombia : Universidad Industrial de Santander, 2004. Pág. 3.

2002 se cambió la segunda prensa mono-tornillo por otra de igual nivel de procesamiento 7 ton/hr, subiendo la capacidad una vez más, llegando a 14 ton/hr<sup>2</sup>.

## **1.2. CONSTITUCIÓN**

La empresa Agroindustrias del Sur del Cesar y Cía. S.C.A. (Agroince Ltda. Y Cía. S.C.A.) fue instituida mediante escritura pública N° 4260 del 10 de Noviembre de 1987 de la Notaria 03 de Bucaramanga y Matricula N° 05-022506-07 de la Cámara de Comercio de Bucaramanga, el representante legal de la compañía es el doctor Cesar De Hart Vengoechea, identificado con la cedula de ciudadanía N° 7.438.697 de Barranquilla<sup>3</sup>.

## **1.3. OBJETO SOCIAL DE LA EMPRESA**

Agroince Ltda. y Cía. S.C.A. tiene por objeto la extracción, procesamiento, empaque, distribución y venta, por mayor o al detal, de aceites, grasas, mantecas, o margarinas de naturaleza vegetal o animal, aptas para el consumo humano, animal o industrial y el cultivo de toda clase de semillas o plantas oleaginosas, propias para la producción industrializada de aceite, el asesoramiento técnico para cultivadores de plantas oleaginosas y el desarrollo y venta de cultivos o viveros de dichas plantas.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Ibíd. Pág. 4.

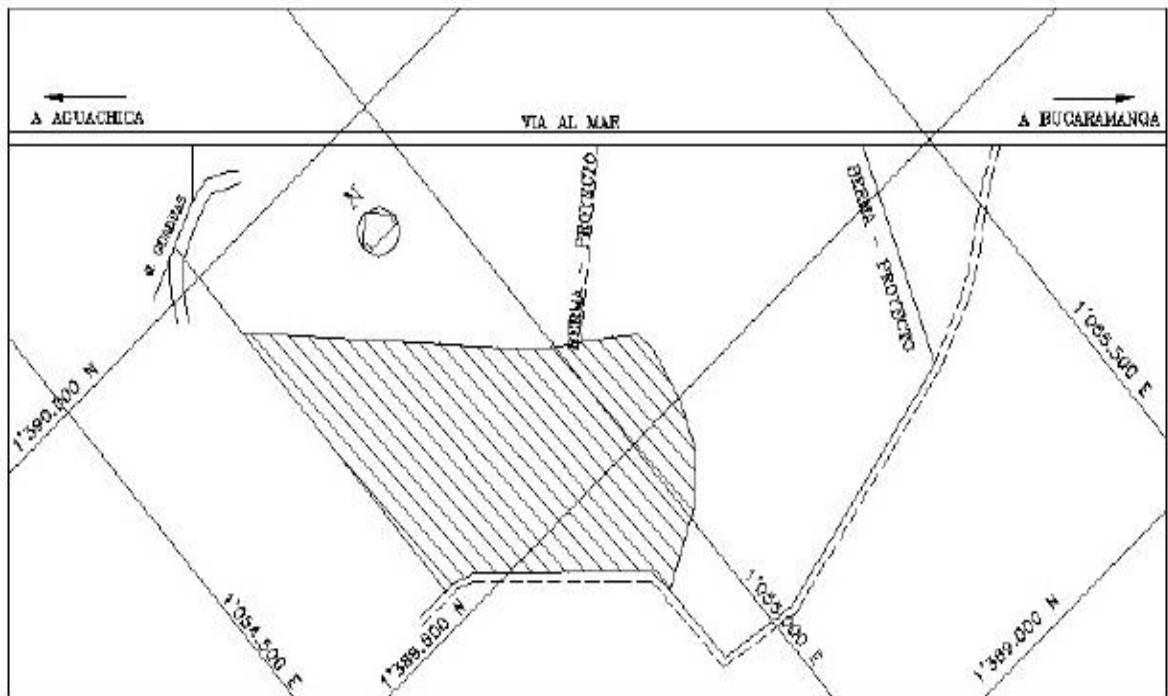
<sup>3</sup> Ibíd. Pág. 4.

<sup>4</sup> Ibíd. Pág. 4.

## 1.4. UBICACIÓN

La ubicación de la planta es en el kilómetro 146, troncal Bucaramanga-San Martín, en la vereda Once Reses, sus cultivos distan 5 Kilómetros de allí y la sede administrativa está localizada en la calle 35 N° 17-56 Oficina 701 de Bucaramanga. En la figura 1. Se muestra la ubicación de la planta al costado de la vía troncal.

**Figura 1. Ubicación Geográfica de la planta.**



Fuente: BECERRA BOHORQUEZ., Oscar Rodolfo Sistema de Información Para el Control de Mantenimiento de la Planta Extractora de Aceite de Palma Agroince LTDA. y CIA. S.C.A. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Bucaramanga, Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2004.

## **1.5. PRODUCTOS Y COMERCIALIZACIÓN**

Los productos obtenidos por la compañía son el aceite de palma RBD (refinado, desodorizado, y blanqueado) y aceite de palmiste RBD. La comercialización del aceite de palma se efectúa en forma directa cuando el producto es para consumo nacional y en caso de que sea para exportación, se hace a través de la comercializadora internacional C.I. ACEPALMA S. A., la cual se encuentra vinculada a la Federación Nacional de Cultivadores y Procesadores de Palma Africana FEDEPALMA.

Las cantidades de exportación se modifican teniendo en cuenta las metas propuestas por cada una de las empresas en el sector a partir del año anterior y en convenio a regulaciones impuestas por Fedepalma. Para el aceite exportado; el precio de venta es fijado a partir del precio CIF-Rotterdam, de Rotterdam Holanda, este precio puede cambiar de acuerdo a la oferta y demanda a nivel mundial, la cual es gobernada por los costos de producción de aceite de palma en todos los países del mundo y de esta manera afectan de manera directa el tráfico de exportaciones de aceite de palma RBD hacia el exterior. Los principales mercados para el aceite de palma son los países de Reino Unido, México, Venezuela, y Centroamérica<sup>5</sup>.

## **1.6. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL**

La empresa está conformada por accionistas y siendo el socio gestor el grupo AGROINCE LTDA. El representante legal de dicho grupo tiene el derecho a ejercer y tomar decisiones en la sociedad según parámetros establecidos en los estatutos de la compañía.

---

<sup>5</sup> Ibíd. Pág. 5,6.

## **1.7. ALCANCES Y METAS**

Teniendo en cuenta la importancia de la industria en la región y siendo un factor de desarrollo y de vigor social a través de la compañía, ofreciendo capacitación en diversas áreas, colaborando dentro de lo socialmente posible a los problemas de índole familiar y subsidiando la salud y bienestar a través de EPS y ARL y otras acciones para las familias de los empleados, este es el propósito de la empresa al aumentar la vinculación laboral con que se cuenta y la capacidad de la planta, por esto se presupuesta extender de 2158 hectáreas que procesa la planta extractora a 2627 hectáreas.

## **1.8. DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO**

Al examinar el estado actual de desempeño del departamento y evidenciar las fallas presentes, este diagnóstico nos brinda un acercamiento sobre la dirección de la problemática y el cumplimiento de las tareas del área y las consecuencias que pueden acarrear la falta de organización y planeación, el estudio realizado contempla los diferentes frentes principales de mantenimiento, revisando cuidadosamente cada función, al igual que las operaciones realizadas y la manera como se registran todas ellas. De esta manera AGROINCE LTDA. Y CÍA. S.C.A. da un paso adelante en cuanto a la tecnificación y organización del departamento de mantenimiento, estableciendo parámetros que encaminen a una futura planeación y programación sobre la atención a equipos<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Ibíd. pág. 6.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)**

Durante los pasados 20 años, el mantenimiento cambió, quizás mucho más que cualquier otra disciplina de gerenciamiento. El cambio se debe a un enorme incremento en el número y variedad de bienes físicos (plantas, equipos, edificios) que deben ser mantenidos alrededor del mundo, diseños mucho más complejos, nuevas técnicas de mantenimiento, y cambiante ideología con respecto a la organización y responsabilidades del mantenimiento.

El mantenimiento también responde a expectativas variables. Estas incluyen el hecho de advertir cada vez más el alto grado en el que las fallas en equipos afectan la seguridad y el medioambiente, una conciencia creciente de la conexión entre mantenimiento y calidad del producto, y una presión cada vez mayor de alcanzar un alto rendimiento de las plantas y controlar los costos.

Estos cambios están poniendo a prueba al máximo actitudes y capacidades en todas las ramas de la industria. El personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar un nuevo modo de pensar y actuar, como ingenieros y como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se están haciendo más evidentes, no importa cuán computarizados estén.

Ante la evidencia de esta avalancha de cambios, los jefes de las diversas áreas, están buscando un nuevo método de mantenimiento. Quieren evitar los falsos comienzos y callejones sin salidas que suelen conducir a mayores catástrofes. En cambio persiguen una estructura estratégica que sintetice los nuevos desarrollos

en un patrón coherente, de manera que puedan ser evaluados sensiblemente, permitiendo escoger aquellos que más se adapten a ellos y a sus empresas.

Si se aplica correctamente, el RCM transforma la relación entre la empresa que lo usa, sus bienes físicos existentes y el personal que opera y mantiene esos bienes. Además, permite que nuevos bienes sean puestos eficientemente en servicio, con gran velocidad, confianza y precisión<sup>7</sup>.

Desde 1930, la evolución del mantenimiento se puede trazar a través de tres generaciones. El RCM se está convirtiendo rápidamente en el cimiento de la tercera generación, pero ésta solo puede ser vista en perspectiva, a la luz de la primera y segunda generación.

**2.1.1. La Primera Generación.** La primera generación cubre el periodo hasta la segunda guerra mundial. En esa época la industria no era altamente mecanizada, de modo que los tiempos de inactividad no tenían demasiada importancia. Esto significa que la prevención de fallas en equipos no era una prioridad en la mente de la mayoría de los gerentes. Al mismo tiempo la mayoría de los equipos eran simples y muy bien diseñados esto los hacia confiables y fáciles de reparar.

Como consecuencia, no había necesidad de mantenimiento sistemático de ningún tipo, más allá que la limpieza, control y lubricación de rutina. La necesidad de habilidades específicas era inclusive menor de lo que es ahora.

**2.1.2. La Segunda Generación.** Todo cambió dramáticamente desde la segunda guerra mundial. Las presiones de la guerra aumentaron la demanda de todo tipo de provisiones, mientras que la disponibilidad de mano de obra disminuyó notablemente. Esto llevo a una mayor mecanización. Para 1950, las maquinarias

---

<sup>7</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina : ELLMAN, SUEIRO Y ASOCIADOD, 2004. Pág. 7.

de todo tipo se habían multiplicado en número y complejidad. La industria estaba comenzando a depender de ellas.

A medida que esta independencia creció, la inactividad tuvo un enfoque más cercano. Esto trajo la idea de que las fallas técnicas podían y debían ser prevenidas, lo que trajo a su vez el concepto de mantenimiento preventivo. En 1960 éste consistía principalmente en el reacondicionamiento de los equipos, que se llevaba a cabo en intervalos fijos.

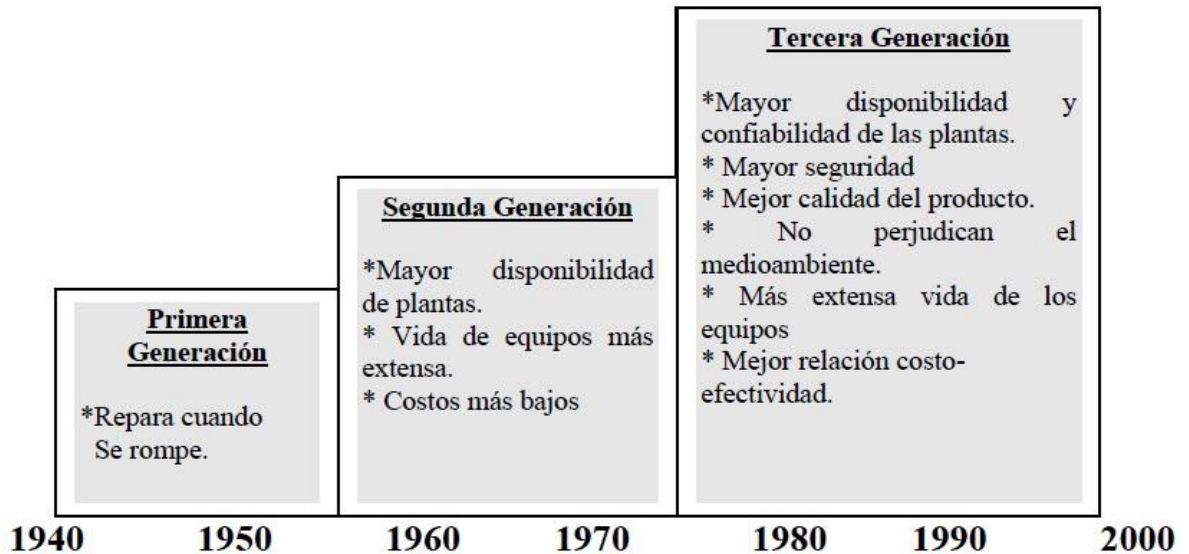
El costo de mantenimiento comenzó a incrementarse notablemente en comparación con otros costos operativos. Esto llevo al crecimiento de la planificación de mantenimiento y programas de control. Estos fueron una enorme contribución para comenzar a controlar el mantenimiento, y actualmente forman parte oficial de las prácticas de éste.

Finalmente la cantidad de capital invertido en bienes físicos y los costos crecientes, llevo a que los propietarios buscaran el modo de maximizar la vida de esos bienes.

**2.1.3. La Tercera Generación.** Desde mediados de 1970, el proceso de cambio en la industria ha conjugado un momentum aún mayor. Los cambios pueden clasificarse bajo los títulos de nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas.

**2.1.4. Nuevas expectativas.** El grafico muestra como evolucionaron las expectativas del mantenimiento.

**Figura 2. Crecientes expectativas en el mantenimiento**



Fuente : MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina : ELLMAN, SUEIRO Y ASOCIADOD, 2004.

El tiempo de inactividad afecta la capacidad productiva de los bienes físicos, reduciendo su rendimiento, incrementando los costos operativos y afectando el servicio al cliente. Esto ya era un problema de gran envergadura en 1960 y 1970 que perjudicaba a los sectores fabriles, mineros y de transporte. Los efectos de la inactividad se agravan aún más por la tendencia mundial a adoptar sistemas de exactitud, donde al reducirse la cantidad de material a través de la cadena de provisión, trae aparejado el hecho de que un número mínimo de fallas tienden a interferir con la operación general de la planta. Recientemente, el crecimiento de la mecanización y automatización trajo a aparejado que la garantía de funcionamiento y disponibilidad se conviertan en planteamientos claves en sectores tan diversos como cuidado de la salud, procesamiento de datos, telecomunicaciones y administración de edificios.

Una mayor automatización significa también que cada vez fallas afectan nuestra capacidad de mantener los estándares elevados de calidad. Esto se aplica tanto a los servicios como a la calidad del producto. Por ejemplo, las fallas en equipos pueden afectar la climatización imprescindible en edificios, y la puntualidad de las redes de transportes puede ser clave en el cumplimiento de fechas específicas de fabricación.

Estas fallas tienen series consecuencias medioambientales y de seguridad, en una época cuando los estándares en estos aspectos son cada vez más elevados. En algunos sectores del mundo se está llegando al punto donde una organización tiene que garantizar la seguridad de la sociedad y el medioambiente, o en su defecto debe dejar de operar. Esto agrega aún más a la magnitud de nuestra dependencia en la integridad de nuestros bienes físicos- hace que esto vaya más allá de los costos, y se convierta simplemente en una cuestión de supervivencia organizacional.

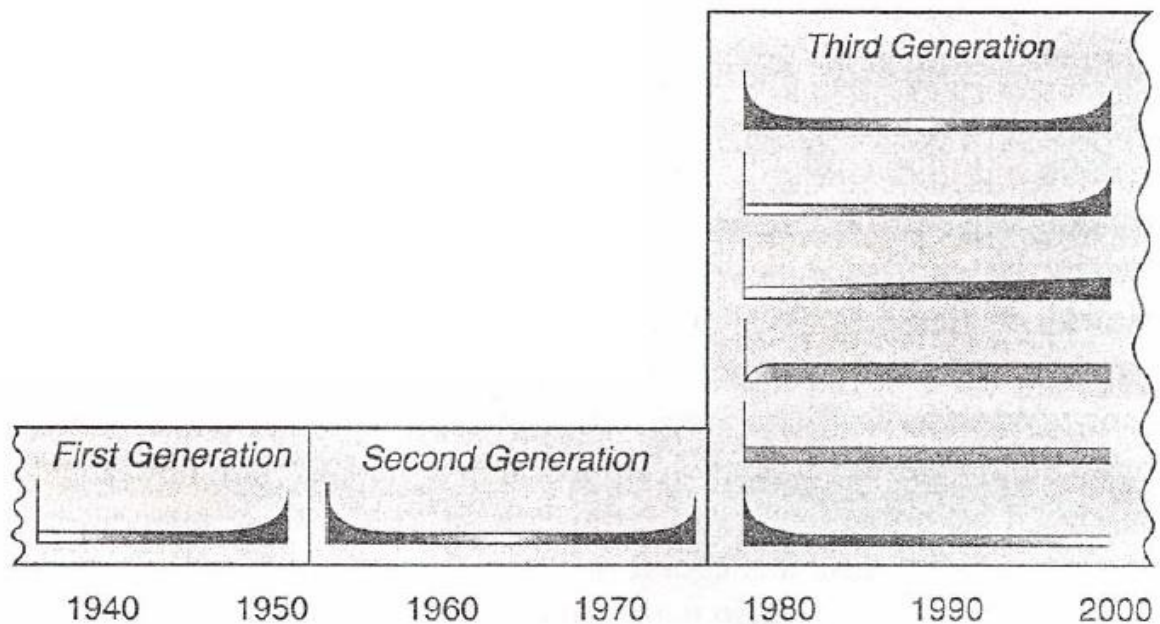
Al mismo tiempo que nuestra dependencia en los bienes materiales está creciendo, también lo se incrementan sus costos- de operación y de adquisición. Para asegurar el máximo retorno en la inversión que ellos representan, debemos lograr que trabajen eficientemente durante la vida útil que nosotros esperamos tengan. Finalmente el costo de mantenimiento en sí mismo está también aumentando, en forma equitativa y como una proporción de los gastos generales.

Para algunas industrias, este representa el segundo o hasta inclusive el mayor gasto entre los costos operativos. Como consecuencia en los últimos treinta años se posiciono desde el lugar prácticamente sin importancia que ocupaba, a formar hoy en día parte de las prioridades de los sistemas de control de costos.

**2.1.5. Nuevas Investigaciones.** Difiriendo con expectativas mayores, las nuevas investigaciones están modificando muchos de nuestros principios más arraigados sobre la relación entre antigüedad y fallas. En particular, hay aparentemente cada vez una menor conexión entre la edad operativa de la mayoría de los bienes y que tan propensos son a fallar.

En el grafico muestra como las primeras apreciaciones sobre las fallas estaban totalmente basadas en el principio de que a medida de que los bienes envejecen, tiene una mayor tendencia a fallar. La advertencia creciente de “mortalidad infantil” llevo a que se expandiera la idea de la Segunda Generación en la curva de “la bañera”.

**Figura 3. Una visión cambiante sobre las fallas en los equipo**



Fuente; BORRAS PINILLA, carlos. Principios del mantenimiento. Bucaramanga : Universidad industrial de santander UIS, 2011.

Sin embargo, las investigaciones de la tercera generación revelaron que no uno o dos, sino seis modos de fallas ocurren durante la práctica. Como se discute más detalladamente adelante en este capítulo, una de las conclusiones más importantes que emergen de este estudio es el convencimiento de que, aunque se halla hecho exactamente lo planeado, un enorme número de las operaciones tradicionales de mantenimiento no llevan a absolutamente nada, mientras que otras son activamente contraproducentes y hasta peligrosas. Esto es particularmente verídico en muchas acciones realizadas bajo nombre de mantenimiento preventivo. Por otro lado, muchas tareas de mantenimiento que son esenciales para la operación segura de sistemas industriales modernos y complejos, no figuran en los programas asociados de mantenimiento.

En otras palabras, la industria en general está poniendo una gran atención en realizar los trabajos de mantenimiento en forma correcta, (hacer correctamente el trabajo), pero se necesita hacer mucho más para asegurar que los trabajos planificados, son los trabajos que deben realizarse (hacer el trabajo correcto).

Los nuevos proyectos incluyen:

- Herramientas de toma de decisiones. Como ser los estudios de riesgos, tipos de fallas y análisis de los efectos y sistemas especializados.
- Nuevas técnicas de mantenimiento, como ser monitoreo del estado
- El diseño de equipos poniendo gran énfasis en la confiabilidad y mantenibilidad.
- Un cambio mayor en el pensamiento organizacional, a través de la participación, trabajo en equipo y flexibilidad.

Como mencionamos anteriormente el mayor desafío que enfrenta el personal de mantenimiento hoy en día, no es solo interiorizarse en estas técnicas, sino decidir

cuáles son útiles y valederas y cuáles no, para sus respectivas organizaciones. Si tomamos las decisiones correctas, es posible mejorar el funcionamiento de los equipos y al mismo tiempo, mantener y hasta reducir los costos de mantenimiento. Si tomamos las decisiones incorrectas, surgirán nuevos problemas y los ya existen solo empeoraran.

**2.1.6. Los desafíos que enfrenta el mantenimiento.** La primera industria en enfrentar estos desafíos sistemáticamente fue la industria de aviación comercial. Un elemento crucial de su respuesta fue el darse cuenta de que se debía poner tanto esfuerzo en asegurar que el personal de mantenimiento esté haciendo el trabajo en forma correcta, como en garantizar que se está haciendo el trabajo correcto. Este proceso llevo a su vez al desarrollo del método de toma de dediciones comprensivo, conocido dentro de la aviación como MSG3, y afuera de ésta como Mantenimiento Centrado en la garantía de Funcionamiento o RCM.(Reliability Centered Maintenance).

En prácticamente cualquier rama del esfuerzo humano organizado, el RCM se está volviendo tan fundamental para la protección de los bienes materiales, como los libros de doble contabilidad lo son para los bienes financieros. No existe ninguna técnica similar para identificar el menor número de actividades específicas y seguras que se deben realizar para preservar el funcionamiento de los bienes físicos, especialmente en situaciones críticas y riesgosas. El reconocimiento cada vez mayor a nivel mundial del rol fundamental del RCM en la formulación de estrategias de manejo de bienes físicos- y de la importancia de aplicarlo correctamente- llevó a la Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices 1999, a publicar SAE Standar JA1011: "Criterios de Evaluación para los procesos de mantenimiento Centrado en la garantía de funcionamiento."

**2.1.7. Mantenimiento y RCM.** Desde el punto de vista de la ingeniería, existen dos elementos para el manejo de cualquier bien físico. Este debe ser mantenido y cada tanto ser modificado.

Los principales diccionarios definen Mantener, como causa de continuidad o Conservar en el estado actual. Esto sugiere que mantener significa preservar algo. Por otro lado, concuerdan en que modificar algo significa cambiar en algún aspecto. Esta distinción entre mantener y modificar tiene profundas implicancias que son discutidas ampliamente en capítulos siguientes. Sin embargo, nos concentramos en mantenimiento.

¿Cuándo nos referimos a mantener algo, que es lo que pretendemos que continúe? ¿Cuál es el estado actual existente que queremos preservar?

La respuesta a este planteo puede encontrarse en el hecho de que todo bien físico se pone en servicio porque alguien desea que cumpla realice una tarea. En otras palabras, esperan que este cumpla una o más funciones. Entonces sucede que cuando nosotros mantenemos un bien, lo que queremos preservar es un estado en el que este siga cumpliendo con las funciones deseadas por el usuario.

Mantenimiento: Asegurar que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que sus usuarios esperan.

Lo que los usuarios quieren dependerá en exactamente dónde y cómo el bien está siendo usado (el contexto operativo). Esto lleva a la siguiente definición formal de mantenimiento basado en la Garantía de Funcionamiento.

Mantenimiento Centrado en la garantía de funcionamiento: un proceso usado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo.

**2.1.8. RCM: Las siete preguntas básicas.** El proceso de RCM incita a responder las siguientes siete preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión:

1. ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
2. ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
3. ¿Que ocasiona cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
5. ¿De qué modo afecta cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

**2.1.9. Funciones y niveles de desempeño.** Antes de que sea posible aplicar un proceso, utilizado para determinar qué debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe cumpliendo con su desempeño, del modo en que sus usuarios esperan dentro de su contexto operativo presente, necesitamos hacer dos cosas:

1. Determinar cuál es la función que los usuarios quieren que cumpla.
2. Asegurar que el bien es capaz de comenzar con lo que los usuarios esperan.

Es por esto que el primer paso del RCM es definir las funciones de cada bien en su contexto operativo, como así también los estándares de desempeño deseados. Las funciones que los usuarios pretenden que sus bienes desempeñen pueden dividirse en dos categorías:

1. **Funciones primarias:** que sintetizan porque el bien fue adquirido en primer lugar. Esta categoría de funciones cubren temas tales como velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente.

2. **Funciones secundarias**, que indican que se espera que todo bien produzca más que simplemente su función primaria. Los usuarios también tienen expectativas en áreas como ser seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento con las normas medioambientales, y hasta la estética o apariencia del bien.

Los usuarios de estos bienes se encuentran en la posición más óptima para saber exactamente como aporta cada bien al bienestar físico y financiero de la organización como un todo., de modo que es esencial que estén involucrados con el proceso de RCM desde un principio.

Si se realiza apropiadamente, este paso generalmente absorbe casi un tercio del tiempo necesario para un análisis de RCM completo. También implica que el personal llevando a cabo este análisis aprenda una cantidad considerable, que puede hasta ser atemorizante sobre cómo los equipos trabajan verdaderamente.

**2.1.10. Fallas funcionales.** Los objetivos de mantenimiento son determinados por las funciones y respectivas expectativas de desempeño del bien bajo consideración. Pero ¿cómo se alcanzan estos objetivos?

El único suceso que puede hacer que un bien deje de funcionar al nivel requerido es algún tipo de falla. Esto sugiere que el departamento mantenimiento alcanza sus objetivos, al adoptar un acercamiento acertado al manejo de las fallas. Sin embargo, antes de que podamos aplicar la conjunción de herramientas apropiadas, necesitamos identificar el tipo de fallas que pueden presentarse.

El proceso de RCM realiza esto en dos niveles:

1. Primero, identificando qué circunstancias llevaron a un estado fallido

2. Luego investigando qué situaciones son las causantes de que un bien caiga en ese estado de falla.

En el mundo de RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, porque ocurren cuando un bien es incapaz de cumplir una función a un nivel de desempeño que sea aceptable por el usuario. En adición a la incapacidad total para funcionar, esta definición abarca fallas parciales, donde el bien todavía funciona, pero a nivel inaceptable de desempeño, (incluyendo también los casos donde no se alcanza el nivel de precisión o calidad). Pero éstas solo pueden ser identificadas una vez que las funciones y desempeño estándares hayan sido definidas con claridad.

**2.1.11. Modos de fallas.** Como se menciona en los párrafos anteriores, una vez que hemos identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todas las posibles causas de este estado de error. Estos eventos se conocen como modos de fallas. Los modos de falla “razonablemente similares” incluyen aquellas fallas que ocurrieron en el mismo equipo o en similares, operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento ya existentes, y aquellas fallas que no ocurrieron aun, pero que se consideran como posibilidades muy reales en el contexto en cuestión.

Las listas de modos de fallas más tradicionales, incorporan fallas causadas por el deterioro o el uso y desgaste normal. Sin embargo también puede incluir fallas causadas por errores humanos (en parte por operarios y personal de mantenimiento) o por desperfectos de diseño de modo que los posibles causantes de fallas en equipos pueden ser identificados y manejados apropiadamente. Es también de suma importancia identificar la causa en detalle de modo que no se desperdicien tiempo ni esfuerzo en tratar síntomas en lugar de causas. Por otro

lado, Es también de suma importancia asegurar que el tiempo no se desperdicia en el análisis mismo, por concentrarse en demasiados detalles.

**2.1.12. Efectos de las fallas.** El cuarto paso en el proceso de RCM implica enlistar los efectos de las fallas, que describen lo que sucede cuando se presenta cada modo de falla. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria para respaldar la evaluación de las consecuencias de las fallas, como ser,

- Evidencias, (si las hubiera), de que la falla ocurrió
- En qué manera, (si las hubiera), representa una amenaza para la seguridad del medioambiente.
- De qué modo, (si los hubiera) afecta la producción u operaciones.
- Que debe hacerse para reparar la falla.

El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modos y efectos de las fallas trae aparejadas oportunidades sorprendentes de mejorar el desempeño y seguridad, y de eliminar lo innecesario.

**2.1.13. Consecuencias de las fallas.** Un análisis detallado de una empresa industrial promedio, tiende a arrojar entre tres y diez mil posibles modos de fallas. Cada una de estas fallas afectan a la organización en alguna escala, pero en cada caso los efectos son diferentes. Pueden afectar la operatividad. También pueden afectar la calidad del producto, servicio al cliente, seguridad del medioambiente. Todas significaran el gasto de tiempo y dinero para repararlas.

Son esas consecuencias las que ejercen la mayor influencia para que tratemos de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla trae consecuencias serias, tenderemos a hacer todo lo posible para tratar de evitarla. Por otro lado, si esta no

afecta o afecta en un grado mínimo, entonces quizás decidamos no hacer un mantenimiento de rutina que vaya más allá de la limpieza y lubricación.

Uno de los puntos fuertes de RCM es que este reconoce que las consecuencias de las fallas son mucho más importantes que sus características técnicas, en realidad reconoce que la única razón de hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es para evitar las fallas en sí, sino evitar o al menos reducir las consecuencias que estas traen. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en los siguientes cuatro grupos:

- **Consecuencias de fallas ocultas:** Las fallas ocultas no causan un impacto directo, pero exponen a la empresa a fallas múltiples, con consecuencias serias y frecuentemente catastróficas. (La mayoría de estas fallas están asociadas con sistemas de protección no libres de fallas)
- **Consecuencias medioambientales y de seguridad:** Una falla trae consecuencias de seguridad si potencialmente puede dañar o causar la muerte. Tiene consecuencias medioambientales si provoca la violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional, nacional o internacional.
- **Consecuencias operativas:** Una falla trae consecuencias operativas cuando afecta la producción (rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente o costos operativos, además del costo directo de reparación.)
- **Consecuencias no operativas:** Las fallas evidentes que conforman esta categoría, no tienen consecuencias ni de seguridad, ni de protección, de modo que solo implican el costo de reparación.

El proceso de evaluación de consecuencias quita énfasis a la creencia de que todas las fallas son malas y deben ser prevenidas. De este modo enfoca la atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de la organización, y no desgasta energía en aquellas que tienen un

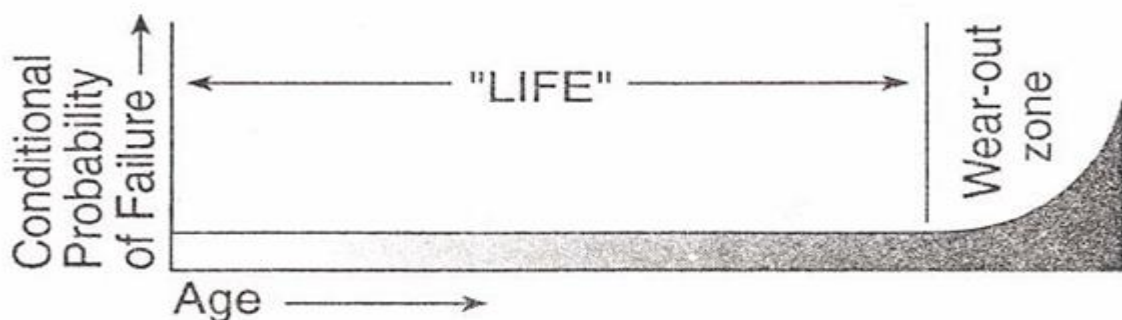
menor o ningún efecto. También nos impulsa a pensar más abiertamente sobre los diferentes modos de manejar las fallas, en lugar de solo concentrarse en la prevención. Las técnicas del manejo de fallas se dividen en dos categorías:

- **Tareas Proactivas:** son los trabajos realizados antes de que la falla ocurra, para prevenir que el equipo llegue a un estado de falla. Esto abarca lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “predictivo” o “preventivo”. Aunque veremos más adelante que RCM utiliza los términos restauración programada, descarte programado o mantenimiento en condición.
- **Acciones de omisión:** estas se encargan del estado de falla, y son utilizadas cuando no es posible identificar una consigna proactiva efectiva. Las acciones de omisión incluyen búsqueda de la falla, rediseño, y acudir a la falla.

#### **Tareas proactivas:**

Muchas personas siguen sosteniendo que el mejor modo de optimizar la capacidad de una planta es tener una determinada rutina de mantenimiento proactivo. La sabiduría de la segunda generación sostiene que esta debería consistir en la reparación o reemplazo de componentes en intervalos fijos. El gráfico ilustra la visión de intervalo fijo en las fallas.

**Figura 4. La tradicional visión de las fallas**



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina : ELLMAN, SUEIRO Y ASOCIADOD, 2004.

El gráfico se basa en la convicción de que la mayoría de los ítems operan confiablemente por un  $X$  periodo. El pensamiento clásico sugiere que los registros detallados de las fallas nos permitirán determinar la vida del equipo y de ese modo hacer planes para tomar acciones preventivas antes de que el ítem comience a fallar en el futuro.

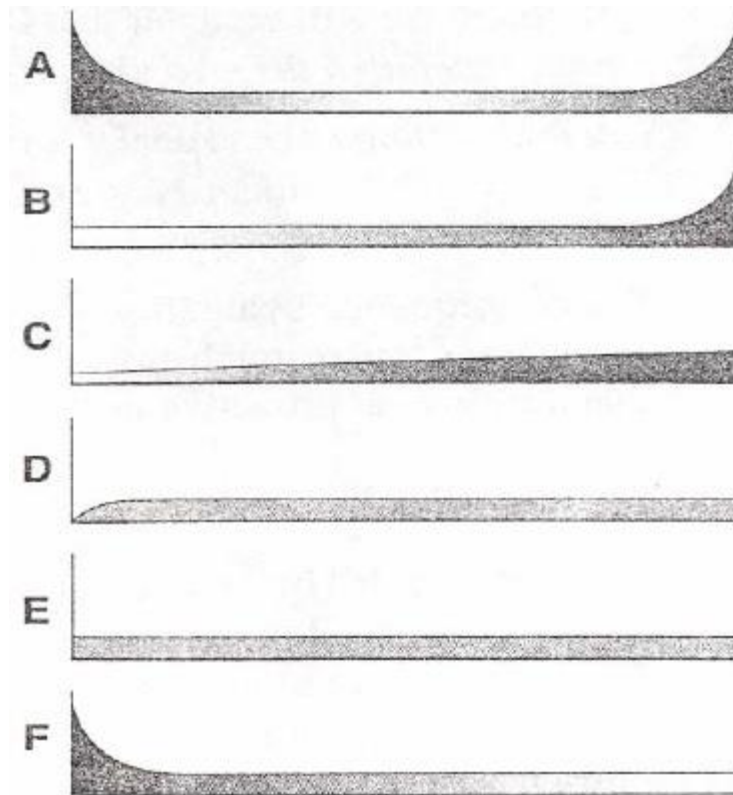
Este modelo es útil para ciertos tipos de equipos simples, y para algunos más complejos con modos de fallas dominantes. En particular las características de durabilidad se encuentran cuando el equipo tiene contacto directo con el producto. Las fallas relacionadas a la edad se asocian con frecuencia con la fatiga, corrosión, abrasividad y evaporación.

Sin embargo los equipos en general son mucho más complejos que veinte años atrás. Esto llevo a cambios iniciales en los patrones de falla, como se muestra en el grafico1.5. Los gráficos muestran la probabilidad condicional de falla versus la edad operativa, en un número de equipos eléctricos y mecánicos.

El patrón A es la tan conocida “curva de la bañera”. Comienza con una incidencia alta de falla (conocida como mortalidad infantil) seguida por una probabilidad de falla condicional en lento o constante crecimiento, luego por la zona de desgaste.

El patrón B muestra una probabilidad de falla creciente, finalizando en una zona de desgaste similar al Figura 5

**Figura 5. 6 patrones de fallas**



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina : ELLMAN, SUEIRO Y ASOCIADOD, 2004.

El patrón C muestra una probabilidad de falla creciente pero no hay una edad de desgaste identificable. El patrón D muestra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo o recién comprado, y luego una suba rápida a un nivel constante, mientras que el patrón E muestra una permanente probabilidad condicional de fallas a cualquier edad, (fallas casuales) El patrón F comienza con una mortalidad infantil alta, que disminuye eventualmente a una probabilidad condicional de falla muy lenta.

Los estudios realizados a una aeronave civil mostraron que un 2% de los ítems respondían al Patrón A, 2% al B, 5% al C, 7% al D, 14% al E y no menos del 68%

al patrón F. ( El número de veces que estos patrones se presentan en aeronaves, no es necesariamente el mismo que para la industria<sup>0</sup>. Pero no hay duda de que a medida que los equipos se vuelven más complejos, se pueden observar más y más patrones E y F.<sup>8</sup>

Estos descubrimientos contradicen la creencia de que siempre hay una conexión entre confiabilidad y edad operativa. Esta creencia lleva a la idea que cuanto más frecuentemente se examine un ítem, tendrá menos probabilidades de fallar. Hoy en día, esto es cierto muy de vez en cuando. A menos que haya una probabilidad de fallas por desgaste dominante, los límites de edad hacen poco y nada para mejorar la confiabilidad de ítems complejos. En realidad las restauraciones programadas pueden aumentar las fallas generales, introduciendo la mortalidad infantil en sistemas que de otro modo serían más estables.

Muchas organizaciones, al observar esto, optaron por abandonar la idea de mantenimiento proactivo en su totalidad. En realidad esto podría ser lo correcto para fallas con consecuencias menores. Pero cuando las consecuencias de las fallas son significantes, debe hacerse algo para prevenir o predecir esas fallas, o al menos para reducir las consecuencias.<sup>9</sup>

Esto nos trae otra vez a la cuestión de las tareas proactivas. Como se menciona anteriormente, el RCM divide las tareas proactivas en tres categorías:

- Tareas de restauración programadas
- Tareas de descarte programadas
- Tareas en condición programadas.

---

<sup>8</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina : ELLMAN, SUEIRO Y ASOCIADOD, 2004. Pág. 6-15.

<sup>9</sup> Ibíd. Pág. 16

### **Tareas de restauración y de descarte programadas.**

Las tareas de restauración abarcan la re fabricación de un componente, o la restauración de un montaje antes de que termine su vida útil programada, sin tener en cuenta su condición en ese momento. Del mismo modo, el descarte programado implica deshacerse de un ítem al, o antes del tiempo programado, sin importar su condición en ese momento.

Colectivamente, estas tareas se conocen como mantenimiento preventivo. Solían ser por lejos la forma de mantenimiento proactivo más utilizada. Sin embargo, por las causas detalladas anteriormente, se las utiliza notablemente menos que 20 años atrás.

### **Tareas en condición.**

La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de fallas, y la creciente incapacidad de las técnicas clásicas para lograrlo, están muy por detrás del crecimiento de nuevos tipos de manejos de fallas. La mayoría de estas técnicas se basan en que gran parte las fallas, dan algún tipo de aviso de que están por ocurrir. Estos avisos se conocen como **fallas potenciales**, y se definen como condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional, está por ocurrir o está en proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas se usan para detectar fallas potenciales de manera que se pueda tomar acción para evitar las consecuencias que traerán si degeneran en fallas funcionales. Se las denomina tareas en condición por que los ítems son controlados bajo la condición de que estén dentro de sus patrones normales de funcionamiento. (El mantenimiento en-condición incluye el mantenimiento preventivo, mantenimiento basado en la condición, y monitoreo de condición.)

Si se los usa apropiadamente, las tareas en condición son una muy buena forma de manejar las fallas, pero también pueden ser un gasto de tiempo muy costoso. RCM permite que se tomen dediciones en esta área con confianza particular<sup>10</sup>.

### **Acciones de omisión**

El RCM reconoce tres categorías principales:

- Descubrimiento de fallas: las tareas de detección de fallas implican controlar las funciones encubiertas periódicamente para determinar si es que hubo fallas (mientras que las tareas en condición implican chequear si algo está fallando).
- Rediseño: implica realzar cambios en la capacidad interna del sistema. Esto implica modificaciones en el hardware y cubre los cambios de procedimientos.
- Mantenimiento no programado: Como es nombre lo implica, esta omisión implica no realizar ningún esfuerzo en anticipar o prevenir los modos de fallas a los que se aplica, de modo que se permite que las fallas sucedan y luego se reparan. Este default también se conoce como acudir a la falla.

**2.1.14. Proceso de selección de tareas de RCM.** Una de las grandes fortalezas de RCM es el modo en que ofrece un criterio simple, preciso y fácilmente entendible, para decidir cuál de las tareas proactivas (si las hubiere) es la realizable en cualquier contexto, y de ser así para decidir qué tan seguido deben realizarse y quien debe hacerlas.

Si las tareas proactivas son técnicamente viables o no, depende de las características técnicas de la tarea, y de la falla que se supone prevenga. Si es conveniente hacerlo depende de que tan bien se manejen las consecuencias de

---

<sup>10</sup> Ibíd. Pág. 17.

las fallas. Si una tarea proactiva no cumple con los requisitos de ser viable y productiva, entonces debe tomarse las acciones de default correspondientes. A continuación se detalla la esencia del proceso de selección de tareas.

\* Para fallas ocultas, vale la pena realizar una tarea proactiva si esta va a reducir el riesgo de fallas múltiples asociadas con esa función, a un nivel tolerablemente bajo. Si hay seguridad en elegir la tarea adecuada, entonces se debe llevar un proceso de detección de fallas. Si el proceso adecuado para esto no se puede determinar, la decisión secundaria de omisión es que el ítem, deba ser rediseñado (dependiendo de las consecuencias de fallas múltiples).

\* Para fallas con consecuencias medioambientales y de seguridad, solo es válido realizar una tarea proactiva, si esta reduce el riesgo de ese problema en sí mismo, a un nivel muy bajo, de no eliminarlo directamente. Si no se encuentra una solución que disminuya el riesgo a un nivel tolerablemente bajo, el ítem debe ser rediseñado, o se debe cambiar de proceso<sup>11</sup>.

\* Si la falla trae consecuencias operativas, solo vale la pena realizar una tarea proactiva si el costo total de realizarla durante un periodo de tiempo determinado, es menor que los costos de las consecuencias operativas y de reparación durante el mismo periodo. En otras palabras, la tarea debe tener un justificativo económico. Si no tiene esta justificación, la decisión de default inicial es **mantenimiento no programado** (Si esto ocurre, y las consecuencias operativas son aun inaceptables, entonces la segunda decisión de default es nuevamente el rediseño.)

Si una falla tiene consecuencias no operativas, solo vale la pena realizar una tarea proactiva, si el costo de ésta sobre un determinado periodo de tiempo es menor, al

---

<sup>11</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina : ELLMAN, SUEIRO Y ASOCIADOD, 2004. Pág. 18.

costo de reparación durante el mismo periodo. De modo que estas tareas también deben tener un justificativo económico. Si no lo tuviera, la decisión va a ser nuevamente un mantenimiento no programado, y si los costos de reparación fueran demasiado altos, la decisión de default secundaria es nuevamente el rediseño.

Esto significa que las tareas proactivas, se especifican únicamente para las fallas que inevitablemente lo requieran, lo que a su vez lleva a una reducción sustancial en la carga laboral de rutina. Menos trabajo de rutina trae aparejado, que el resto de las tareas pueden ser realizadas con mayor precisión. Esto, junto a la eliminación de tareas contraproducentes, lleva a un mantenimiento más efectivo<sup>12</sup>.

Tradicionalmente, los requerimientos de mantenimiento de cada bien, se evalúan en relación a sus características técnicas reales, sin considerar las consecuencias de las fallas. Los programas resultantes son aplicables para todos los bienes que poseen características similares, nuevamente sin considerar que las consecuencias serán diferentes de acuerdo al contexto operativo. Esto trae aparejado el desperdicio de un gran número de programas, no porque estén equivocados, sino porque no logran sus objetivos<sup>13</sup>.

Se debe tener también en cuenta que el proceso de RCM considera las necesidades de mantenimiento de cada bien, antes de plantear la posible necesidad de un rediseño. Esto sucede simplemente por el hecho de que el Ingeniero de mantenimiento que esta de turno hoy, tiene que procurar el mantenimiento del equipo existente en su estado actual, no como podría o debería encontrarse en el futuro.

---

<sup>12</sup> *Ibíd.* Pág. 19.

<sup>13</sup> *ibíd.* Pág. 19.

**2.1.15. Aplicación del proceso de RCM.** Antes de establecer y analizar los requisitos de mantenimiento de cualquier organización, necesitamos conocer sus bienes, y decidir cuáles de ellos serán los sometidos al proceso de revisión de RCM. Esto significa que se debe preparar un registro de la planta si es que no hubiere uno. En realidad la gran mayoría de las organizaciones industriales hoy en día poseen registros de plantas, que se adecuan a este propósito<sup>14</sup>.

**2.1.16. Planificación.** Si se aplica correctamente, el RCM brinda mejoras remarcables en la efectividad del mantenimiento, y generalmente lo logra a una velocidad sorprendente. Sin embargo la aplicación exitosa de RCM depende de una preparación y planificación meticulosas. Los elementos claves para este proceso de planificación son:

- Decidir que bienes son lo que obtendrán un mayor beneficio del proceso de RCM, y como exactamente se verán beneficiados.
- Evaluar los recursos necesarios para aplicar el proceso a los bienes seleccionados.
- En los casos donde los posibles beneficios justifican la inversión, decidir detalladamente quién llevara a cabo el proceso y quién auditara cada análisis, dónde y cómo, y hacer todos los arreglos para que reciban el entrenamiento necesario.
- Asegurar que el contexto operativo del bien, se entiende con claridad<sup>15</sup>.

**2.1.17. Grupos de revisión.** Vimos anteriormente como el proceso de RCM da forma a 7 preguntas básicas. En la práctica, el personal de mantenimiento, simplemente no puede responder todas esas preguntas por si solos. Esto es porque muchas de las respuestas solo pueden ser provistas por personal de

---

<sup>14</sup> Ibíd. Pág. 20.

<sup>15</sup> R. ORLANDO, T. ALEXANDER, T. WILSON. Estrategia de Mantenimiento para la Nueva Planta de Gas de Ecopetrol S.A.

operación o producción. Esto se aplica especialmente a preguntas con respecto a funciones, desempeño deseado, efectos y consecuencias de las fallas<sup>16</sup>.

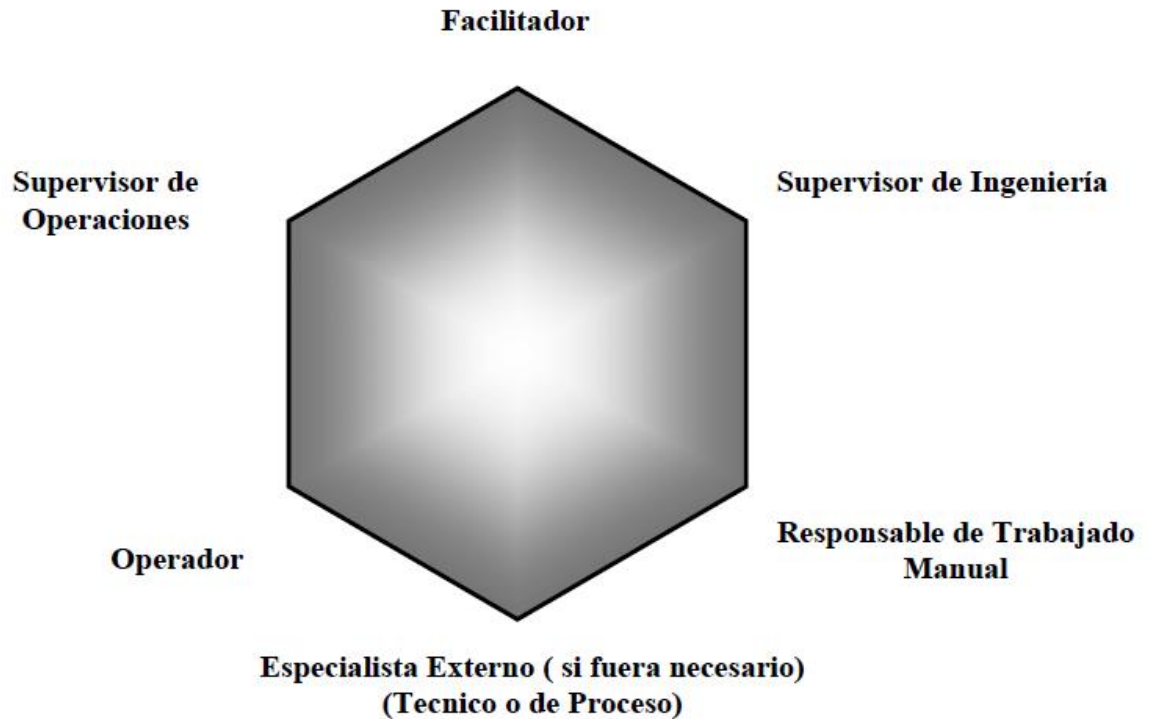
Por esta razón se debe realizar una revisión de los requisitos de mantenimiento, esto debe ser realizado por grupos pequeños, que incluyan al menos una persona responsable de mantenimiento y una persona de la función operativa. La categoría de los miembros del grupo es menos importante que el real conocimiento que posean de cómo funciona el equipo. Cada miembro debe además haber sido capacitado en RCM. En el Grafico 1.6 se puede observar la organización de un grupo típico de revisión:

El trabajo en equipo no solamente permite a los gerentes conocer y absorber la experiencia de cada miembro en una base sistemática, sino que aporta a cada uno un entendimiento mucho más completo del funcionamiento del bien en su contexto operativo.

---

<sup>16</sup> Moubroy, Op cit. Pág. 21.

**Figura 6. Un grupo Tipo de revisión de RCM**



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina : ELLMAN, SUEIRO Y ASOCIADOD, 2004.

**2.1.18. Facilitadores.** Los grupos de revisión de RCM trabajan bajo la guía de especialistas altamente capacitados, conocidos como facilitadores. Los facilitadores son las personas más importantes en el proceso de RCM, su rol es garantizar que:

- El análisis de RCM se lleva a cabo al nivel correcto, que los límites del sistema están claramente definidos, que los ítems de importancia no son pasados por alto, y que los resultados del análisis son registrados apropiadamente.
- Que todos los miembros del grupo comprenden y aplican correctamente el proceso de RCM.

- El grupo concuerda en general de un modo convincente, mientras se retiene el entusiasmo y compromiso individual de los miembros.
- El análisis progresa con una rapidez razonable, y termina a tiempo.

Los Facilitadores trabajan a menudo con los jefes de proyecto de RCM o con los sponsors, para asegurar que cada análisis es planeado correctamente y goza del manejo y apoyo logístico necesario<sup>17</sup>.

**2.1.19. Resultados del análisis de RCM.** Si es aplicado del modo sugerido anteriormente, el análisis de RCM aporta tres resultados tangibles:

- Rutinas de mantenimiento a seguir por el sector competente.
- Procedimientos operativos seguros para los operadores del bien.
- Una lista de áreas donde deban realizarse cambios, ya sean de diseño o del modo operativo, para revertir las situaciones en las que no se están logrando los niveles productivos deseados con la configuración actual.

Dos resultados menos tangibles son los conocimientos que los participantes adquieren y el hecho en mejoran sus técnicas de trabajo en equipo<sup>18</sup>.

**2.1.20. Auditorías e implementación.** Inmediatamente después de haber concluido la revisión de cada bien, los managers séniores, con responsabilidad superior en el área deben estar satisfechos de que las decisiones tomadas por el grupo son sensibles y defendibles.

Después de que se aprueba cada revisión, las recomendaciones se implementan incorporando rutinas de mantenimiento en las planificaciones y sistemas de

---

<sup>17</sup> Ibid. pág. 17-20.

<sup>18</sup> Ibid. Pág. 21.

control, cambios en los procedimientos operativos del bien, y proveyendo recomendaciones de modificaciones de diseño a las autoridades del sector correspondiente.<sup>19</sup>

**2.1.21. Que logra el RCM.** Los resultados descritos anteriormente, deberían ser solo considerados como los medios para un fin. Específicamente, estos deberían permitir que las funciones de mantenimiento completen todas las expectativas detalladas en el grafico 1.1 al comienzo.

- **Mayor seguridad e integridad medioambiental.:** el RCM considera las implicaciones medioambientales y de seguridad de cada falla, antes de considerar sus efectos en las operaciones. Esto significa que se siguen determinados pasos para minimizar los riesgos ambientales, y la seguridad relativa a los equipos, de no lograrse eliminarlos por completo. Al integrar el aspecto seguridad en la corriente de toma de decisiones de mantenimiento, RCM también logra mejorar las actitudes en este punto.
- **Desempeño operativo optimizado:** (rendimientos, calidad y servicio al cliente): RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es valioso, y proporciona reglas para decidir cuál es el más aplicable en cada situación. De este modo, asegura que se escogen los métodos más apropiados de mantenimiento para cada bien en particular, y que se llevan a cabo las acciones necesarias en los casos en los que el mantenimiento no pueda ser de ayuda. Este esfuerzo de mantenimiento que presenta un enfoque más centrado conduce a una mejora productiva de los bienes existentes donde se la requiere. RCM fue desarrollado para ayudar a las aerolíneas a diseñar un programa de mantenimiento para nuevas aeronaves antes de que entren en servicio. Como resultado, demostró ser un sistema ideal para desarrollar

---

<sup>19</sup> Ibíd. Pág. 21.

programas para nuevos bienes, especialmente equipos complejos de los cuales no se posee información histórica. Esto ahorra gran parte del sistema de prueba y error, tan utilizado en los programas de mantenimiento; - la prueba, que implica frustración y consumo de tiempo, y error, que puede ser sumamente costoso.

- **Mejor relación costo-efectividad:** RCM enfoca la atención continuamente en las actividades de mantenimiento que producen en mayor efecto en el desempeño de la planta. De este modo se asegura que lo invertido en mantenimiento, se utilizó de la manera prioritaria. Lo que es más, si RCM se aplica correctamente a los sistemas de mantenimiento existentes, disminuye la cantidad de trabajo de rutina (en otras palabras, las tareas de mantenimiento se llevaran a cabo en una base cíclica) destinando en cada periodo, generalmente entre el 40% y el 70%. Si RCM es utilizado para desarrollar un nuevo programa de mantenimiento, la carga de trabajo es sumamente menor que si dicho programa se basa en cualquier otro método.
- **Mayor vida útil en equipos de costos elevados:** debido al énfasis centrado el uso de técnicas de manutención en condición.
- **Un banco de datos comprensible:** Todo reporte de RCM termina con un registro completo y totalmente documentado de los requisitos de mantenimiento de todos los bienes significativos utilizados por la organización.

Esto hace posible adaptarse a circunstancias cambiantes (como ser rotaciones o nueva tecnología) sin tener que reconsiderar todas las políticas de mantenimiento desde la base. Esto también permite a los operadores, demostrar que sus programas de mantenimiento están basados en fundamentos racionales (las auditorias son requeridas por cada vez más entes reguladores). Finalmente la

información almacenada en las planillas de RCM reducen los efectos de la rotación de personal, que trae aparejada una pérdida de experiencia<sup>20</sup>.

También provee una visión mucho más clara de las herramientas requeridas para el mantenimiento de cada bien, y para decidir sobre los repuestos que deben conservarse en stock. Un producto derivado de gran valor son también los gráficos y manuales mejorados.

- **Mejoras en la motivación individual:** especialmente de las personas involucradas en las revisiones. Esto lleva un entendimiento mucho más claro del equipo en su contexto operativo, conjuntamente con una mayor propiedad de los problemas de mantenimiento y sus soluciones. También significa que estas soluciones tenderán a una mayor duración.
- **Mejora en el trabajo en equipo:** RCM provee un lenguaje perfectamente entendible para toda persona involucrada con mantenimiento. Esto da a los operadores y personal de mantenimiento un claro entendimiento de que se puede o no realizar para mejorar el desempeño. Todas estas características, forman parte de la corriente principal de la administración de mantenimiento, y muchas son actualmente el objetivo de programas mejorados. Una de las ventajas principales de RCM es que provee una estructura efectiva de seguimiento paso a paso, para abarcar a todas al mismo tiempo, y para hacer partícipes a toda aquella persona que tenga que ver con el equipo durante el proceso.

RCM otorga resultados inmediatamente. En realidad si son enfocados y aplicados correctamente, RCM cubre sus propios gastos en cuestión de unos meses o hasta de unas semanas. La revisión transforma tanto la percepción que la organización

---

<sup>20</sup> *Ibíd.* pág. 22.

tiene de los requisitos de mantenimiento de un determinado equipo, como también la percepción general que se tiene de los programas de mantenimiento. Los resultados son una mejor relación costo- efectividad, mayor armonía, y un mantenimiento mucho más exitoso<sup>21</sup>.

## **2.2. COMBINACION DE TPM Y RCM**

**2.2.1. Los Principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM).** El Mantenimiento Productivo Total (TPM), como se le llama genéricamente, consiste en una estrategia destinada a elevar la productividad mejorando el mantenimiento y las prácticas correspondientes. Hoy se le reconoce ya como una excelente herramienta para aumentar la productividad, la capacidad y el trabajo en equipo en una compañía manufacturera. Sin embargo, el entorno cultural en el que se desarrolló la estrategia del TPM puede ser distinto del existente en una planta típica que no sea norteamericana, y por ello exige otras consideraciones<sup>22</sup>.

El TPM lo desarrolló Seiichi Nakajima en Japón. Por su origen japonés, la estrategia correspondiente atribuye un alto valor al trabajo en equipo, a los proyectos realizados por acuerdo común y a una mejora constante; este procedimiento tiende a ser más estructurado desde el punto de vista de su estilo cultural: todo el mundo comprende su misión y, por lo general, actúa según un protocolo asumido. El trabajo en equipo está muy valorado, mientras que el individualismo es objeto de desaprobación. La génesis básica que subyace en la estrategia del TPM japonés es una cuestión de gran relevancia que hay que comprender cuando el TPM se aplica a una determinada planta manufacturera, lo cual es especialmente cierto si ésta es norteamericana, porque la cultura de este país tiende a otorgar más valor al individualismo.

---

<sup>21</sup> *Ibíd.* Pág. 22.

<sup>22</sup> MORA, Alberto. *Mantenimiento Industrial Efectivo*. s.l: Fuentes litograficas limitada, 2014.

Tiende además a distinguir a quien tiene capacidad de gestión para resolver una crisis, a los que se muestran a la altura de las circunstancias, y a quienes aceptan retos aparentemente insuperables y salen airoso de ellos. Nosotros tendemos a premiar a los que responden rápidamente a las crisis y las resuelven con la misma disposición con que desestimamos a quienes se limitan simplemente a “hacer un buen trabajo”. Son estas últimas personas no particularmente visibles: “no hay chirridos y, por tanto, no hace falta engrase”. Esta “adoración del héroe”, este individualismo, puede ser parte inherente de nuestra cultura y dificultar más la realización del TPM.

Esto no quiere decir que el TPM se enfrente a impedimentos excesivamente graves ni que sea un procedimiento ineficaz en una fábrica no japonesa. Todo lo contrario: cuando el personal directivo de una organización ha manifestado abiertamente que el éxito de ella es más importante que el individuo sin dejar de reconocer las contribuciones individuales, puede desarrollarse una cultura empresarial orientada al trabajo en equipo que trascienda la tendencia a la cultura individualista y haga más probable el éxito.

Muchas plantas de todo el mundo vienen usando el TPM con gran eficacia, pero la mayor parte de las existentes tienen una enorme necesidad de mejorar sus procedimientos de comunicación y el trabajo en equipo, lo cual podría facilitarse con la metodología TPM<sup>23</sup>.

Casi todas las plantas se encontrarían en mejor situación con menos héroes y con una capacidad de producción más fiable. Ya se ha avanzado considerablemente con la aplicación de programas y estrategias como la del TPM, pero sigue siendo

---

<sup>23</sup> LA COMBINACION DEL TPM Y RCM. Estudio de Un Caso Práctico. Moore, Ron. 1999, Fiabilidad, Mantenibilidad y Mantenimiento Proactivo, págs. 49 - 56.

evidente que en muchas plantas existen todavía fuertes barreras para la comunicación y el trabajo en equipo.

No han sido pocas las veces que hemos oído decir al personal de operaciones: “bastaría con que los de mantenimiento reparasen los equipos correctamente para que se pudiera aumentar la producción”, y a la gente de mantenimiento: “si los de operaciones no dejaran trabajar a los equipos hasta destrozarnos y dieran tiempo suficiente para hacer las adecuadas reparaciones, podríamos aumentar la producción”, o a los ingenieros: “si se operasen y mantuviesen bien los equipos, sería posible el aumento de la producción, porque esos equipos están perfectamente diseñados (esto es lo que piensan)”, y así sucesivamente.

La verdad está “a medio camino”, entendiéndose por medio camino la condición creada por el trabajo en equipo combinada con la contribución y responsabilidad individuales y con una comunicación efectiva.

El Mantenimiento Productivo Total es aquel en el que, como su denominación implica, todas las actividades de mantenimiento deben ser productivas y dar lugar a aumentos de producción.

El Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad connota una función de mantenimiento enfocada a la consecución de la fiabilidad de los equipos y de los sistemas. (La Combinación del TPM y RCM. Estudio de Un Caso Práctico, 1999)

### **2.2.2. Los pilares básicos del TPM y algunas ideas sobre su relación con el RCM**

**a) En virtud del TPM, el equipo debe restablecerse a un estado en que quede como nuevo.** A este proceso pueden contribuir sustancialmente los operadores y

el personal de producción. Al mismo tiempo, según algunos estudios de RCM, el 67%, aproximadamente, de las averías de los equipos pueden producirse en las circunstancias que llamaríamos de “mortalidad infantil”, es decir, al instalarlos o ponerlos en servicio, o poco después.

Unas buenas prácticas de TPM contribuirán a reducir al mínimo estos problemas a base de restablecer el equipo a la condición de nuevo y de que el operador aplique el cuidado básico.

Sucede, no obstante, que en muchos casos pueden ser necesarias unas prácticas más avanzadas como, por ejemplo, una estricta puesta en servicio del equipo y del proceso, el uso de herramientas de control de estado y métodos normalizados, como instrumentos y software de análisis de vibraciones, aceite, infrarrojos, etc., para verificar ese estado de “como nuevo”.

Aquí también puede ser especialmente importante comprender los modos y efectos de los fallos para que tanto la sección de operaciones como la de producción tomen las medidas adecuadas para aliviar o eliminar esos modos de fallo. Habrá muchos que digan que el TPM exige la aplicación del mantenimiento predictivo o control de estado. Sin embargo, según la experiencia del autor, esto tiende a ser muy limitado y lo más general es que sólo se refiera al “control del estado” que realiza el operador, es decir, a mirar, tocar, apreciar al tacto, etc., lo cual, evidentemente, es una buena práctica pero a veces resulta insuficiente.

Además, el control del estado, tal como se practica con el TPM, puede no tener fundamentos sólidos, como es el análisis de los modos de fallos, que lleva a la aplicación de la tecnología específica. Por ejemplo, afirmaciones tales como “es un cojinete y nosotros hacemos análisis de vibraciones de los cojinetes” sin definir si los modos de fallo requieren técnicas espectrales, generales, de impulsos de

excitación, etc., pueden no constituir un método de análisis apropiado de la máquina que se trate.

**b) El TPM requiere que el operador intervenga en el mantenimiento del equipo.** Esto es una necesidad rigurosa en una planta moderna. Pero muchas veces el operador tiene que recurrir a personal especializado en tecnologías más avanzadas cuando empieza a desarrollarse un problema en la máquina. Estos especialistas pueden usar los principios del RCM, como el análisis de los modos y efectos de fallos y el uso de herramientas de control de estado (por ejemplo, el análisis de las vibraciones) para facilitar la identificación de los problemas y establecer prioridades entre ellos hasta llegar a las causas primarias.

**c) El TPM requiere el aumento de la eficacia y rendimiento del mantenimiento.** Esta es, también, una característica del RCM. Muchas plantas hacen amplio uso del mantenimiento preventivo o del llamado PM. Sin embargo, aunque las inspecciones y pequeños trabajos de PM son apropiados, la aplicación exagerada del PM para la revisión general de equipos puede no serlo, a menos que esté validada por la revisión del estado del equipo, ya que, según estudios de RCM, pocos equipos están realmente en condiciones adecuadas. El RCM ayuda a determinar qué aspecto del PM es el más eficaz, cuál debe ser atendido por los operadores, cuál por el personal de mantenimiento y cuál merece la atención del personal de diseño y compras.

El PM se hace más efectivo porque se basa en un análisis adecuado utilizando los métodos apropiados.

**d) El TPM requiere la instrucción del personal para perfeccionar su pericia.** El RCM contribuirá a identificar los modos de fallos motivados por personas mal cualificadas y, por tanto, a identificar las áreas que demandan instrucción

adicional. En ciertos casos, puede eliminar realmente el modo de fallo por completo, y de esa forma excluir potencialmente la necesidad de instrucción en esa área. El RCM presta un gran apoyo al TPM porque pueden identificarse y llevarse a la práctica las necesidades de instrucción de forma más efectiva y específicamente.

**e) El TPM requiere la gestión de los equipos y la prevención del mantenimiento.** Esto es inherente a los principios del RCM por la identificación de los modos de fallo y su evitación. De esta forma se gestionan mejor los equipos por medio de normas de fiabilidad al adquirirlos (o al revisarlos), durante el almacenamiento, la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento, y en un ciclo continuo que alimenta el proceso de diseño en beneficio de la mejora de la fiabilidad.

El mantenimiento se reduce realizando cosas que aumentan la duración del equipo y maximizan los intervalos de mantenimiento, evitando trabajos de PM innecesarios por ser conocido el estado del mismo y utilizando un personal que se muestre permanentemente activo con el propósito de mejorar la fiabilidad.

**f) El TPM requiere el uso efectivo de la tecnología de mantenimiento preventivo y predictivo.** Los métodos del RCM contribuirán a identificar cuándo y cómo usar más eficazmente el mantenimiento preventivo y predictivo por el análisis de los modos de fallo a fin de determinar el método más apropiado para detectar el comienzo de la avería valiéndose de los operadores como monitores de estado o de un procedimiento más tradicional por lo que respecta a herramientas predictivas<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> LA COMBINACION DEL TPM Y RCM. Estudio de Un Caso Práctico. Moore, Ron. 1999, Fiabilidad, Mantenibilidad y Mantenimiento Proactivo, págs. 49 - 56.

**2.2.3. La combinación del TPM y del RCM.** El primer paso para combinar el TPM y el RCM es llevar a cabo un análisis bien organizado del RCM en una cadena de producción considerada como sistema. El fallo funcional del sistema se define como algo que causa pérdida de capacidad de producción o que se traduce en costes extraordinarios. Se enfoca en los modelos de fallo, en su frecuencia y en sus efectos y se extiende a la identificación de aquellos modos de fallo que se podrían detectar fácilmente y evitar por la acción adecuada del operador, detallando los modos de fallo que exigen metodología y técnicas más avanzadas, como el mantenimiento predictivo, mejores especificaciones, mejores prácticas de reparación y revisión, mejores procedimientos de instalación, etc., para evitar introducir defectos.

El paso siguiente consiste en aplicar los principios del TPM relacionados con el restablecimiento de los equipos a un estado de “como nuevos”, haciendo que los operadores pongan un cuidado básico (TLC) en sus operaciones de apriete, lubricación y limpieza, y aplicando técnicas preventivas y predictivas más eficaces. Los operadores representan lo más apropiado en lo que respecta al cuidado básico y al control del estado. Muchas veces necesitan estar apoyados por una técnica más sofisticada de detección y resolución de problemas, las cuales se facilitan por la integración de métodos de TPM y RCM <sup>25</sup>.

---

<sup>25</sup> Ibid. págs. 49 - 56.

### 3. PROCESO DE BENEFICIO EN LA PLANTA EXTRACTORA AGROINCE LTDA Y CIA S.C.A.

#### 3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El proceso de beneficio consiste en la extracción del licor de prensa de la semilla y pericarpio del fruto producidos por una palmera *Elaeis Guineensis*, este aceite es utilizado en la elaboración de aceites, margarinas, bio-combustibles, jabones y cremas; adicionalmente la torta o residuo resultante es utilizada en la elaboración de alimentos concentrados para animales.

#### 3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

**3.2.1. Sección Recepción.** El fruto ingresa a la planta en volquetas provenientes de la plantación, donde son pesadas en una báscula mecánica con medición electrónica, ver figura 7.

**Figura 7. Sección recepción.**

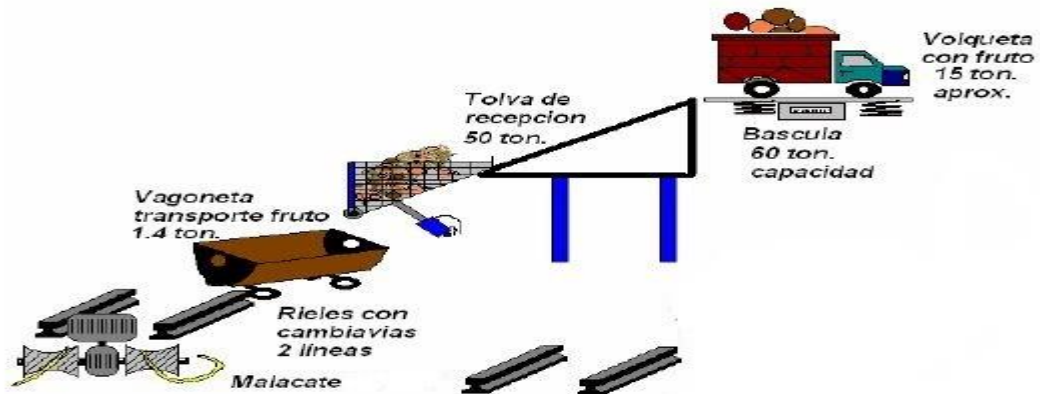


Fuente: El autor

En la sección de recepción podemos detallar equipos como la báscula electrónica, báscula mecánica, tolva de recepción de fruto, malacates, mesa de transferencia, vagonetas y rieles.

### Esquema de Recepción

Figura 8. Esquema de la sección de recepción.



**Fuente:** Bohórquez, Oscar. Sistema de información para el control de mantenimiento de la planta extractora de aceite de palma Agroince Ltda. y CÍA. S.C.A

**3.2.2. Sección Esterilización.** Es la primera etapa del proceso posiblemente la más importante ya que se cocina el fruto, con el propósito de inactivar la encima lipasa que causa el desdoblamiento del aceite y en consecuencia el incremento de los ácidos grasos libres.

En esta sección se observan equipos tales como las autoclaves o esterilizadores y una unidad de aire comprimido.

**Figura 9. Sección esterilización.**



Fuente: El autor

### **3.2.3. Sección de Desfrutamiento.**

**Figura 10. Sección Desfrutamiento.**



Fuente: El autor

En esta sección es donde el fruto se desprende del racimo, después de estar cocinado y la separación se lleva a cabo de un tambor desfrutador.

#### **3.2.4. Sección de Prensado.**

**Figura 11. Sección prensado.**

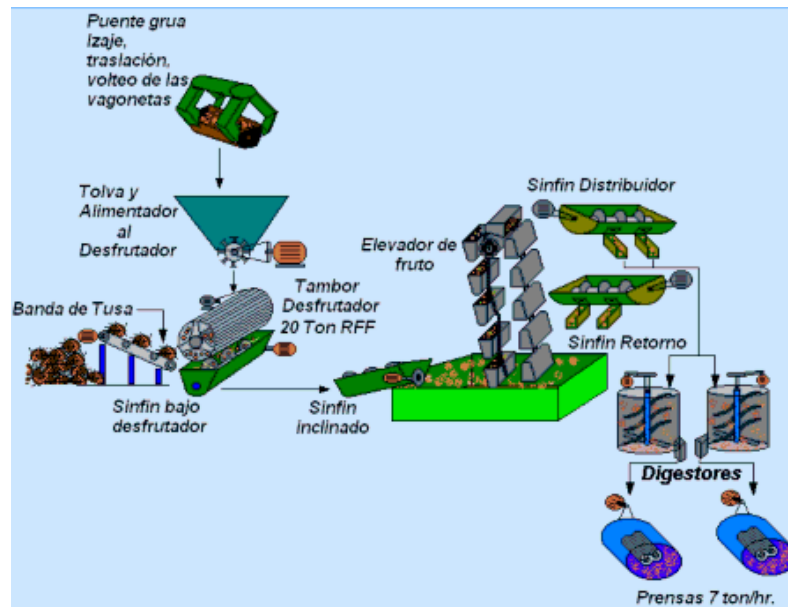


Fuente: EL autor

En esta sección se extrae el aceite del pericarpio por medio de sistema de prensado doble tornillo, se puede observar en esta sección equipos tales como digestores, prensas de aceite rojo y varios sinfines.

## Esquema de Prensado

Figura 12. Esquema de la sección de Prensado



Fuente: Bohórquez, Oscar. Sistema de información para el control de mantenimiento de la planta extractora de aceite de palma Agroince Ltda. y CÍA. S.C.A

### 3.2.5. Sección Clarificación.

Figura 13. Sección clarificación.

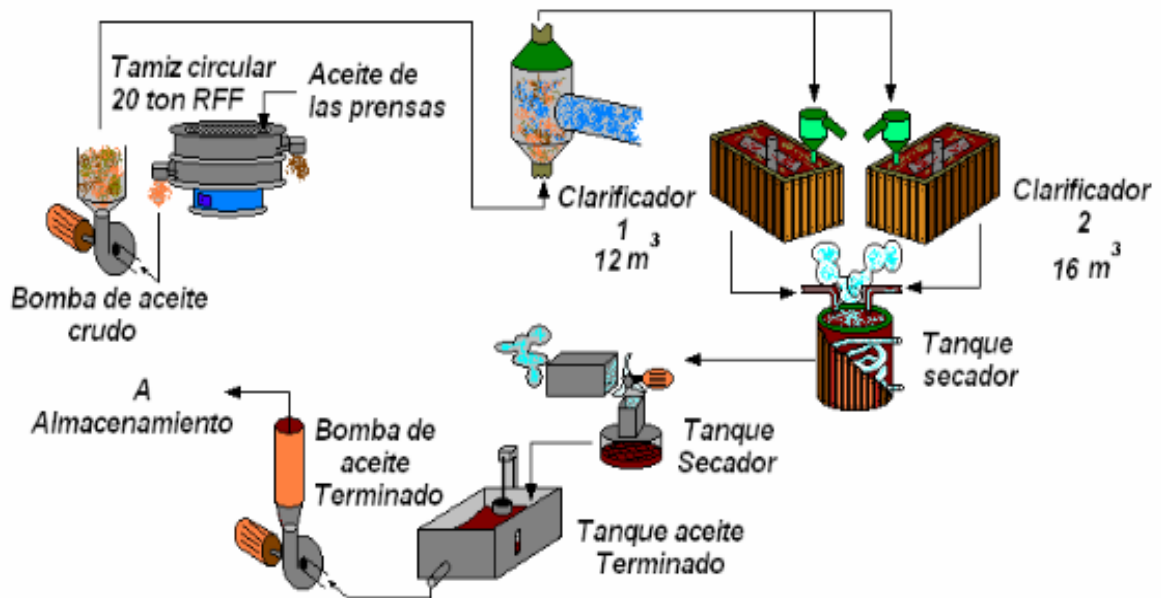


Fuente: El autor.

En esta sección de clarificación se realiza la decantación del aceite separando las fases de agua, lodos ligeros y lodos pesados; los equipos incluidos en esta sección de la planta son tales equipos: tamiz circular de lodos, bomba de crudos, preclarificador, bomba de lodos preclasificados, columna precalentador lodos, columna precalentador, aceite, tanques sedimentadores, clarificadores, boba de aceite húmedo, bomba aceite terminado, filtrocepillos, deslodadoras, bombas y tanques de aceite recuperado, bomba de purgas y bombas de condensados y tanques florentinos.

### Esquema de Clarificación

Figura 14. Esquema de la sección de Clarificación



Fuente: Bohórquez, Oscar. Sistema de información para el control de mantenimiento de la planta extractora de aceite de palma Agroince Ltda. y CÍA. S.C.A

### 3.2.6. Sección de Desfibrado

Figura 15. Sección desfibrado



Fuente: El autor

En esta etapa del proceso se retiran las fibras, cascarillas y polvos provenientes del pericarpio y semilla, este residuo es utilizado como combustible en las calderas y sus excedentes son retornados al campo en el caso de la fibra y la cascarilla es vendida a empresas que poseen calderas en la zona; entre los equipos más importantes se encuentran el transportador de torta, columna de fibras, ciclón de fibras, esclusas de fibras, sinfines de fibras.

### 3.2.7. Sección Trituración

**Figura 16. Sección trituración.**



Fuente: El autor

Sección encargada de pulir y romper nuez para liberar semilla, luego calentar retirar cuesco adherido y por último calentar nuez hasta llegar a condiciones de humedad óptimas para ser extraído el aceite de semilla; se encuentran equipos como silos de nuez, riplers, sinfines, tambor clasificador, tambor pulidor, elevadores, ciclón de cascarilla, esclusa de cascarilla, hidrociclones.

### 3.2.8. Sección Secado Y Almendra

Figura 17. Sección secado y almendra



Fuente: El autor

Esta es la etapa del proceso encargada de preparar la semilla en condiciones de humedad y tamaño, luego es transportada a la sección de palmiste donde se extrae el aceite de semilla; para esta sección se tienen como: Molino partidor de almendra, elevadores, silos de almendra, sinfín, tamiz de almendras.

### 3.2.9. Sección de Extracción Palmiste

Figura 18. Sección de extracción palmiste

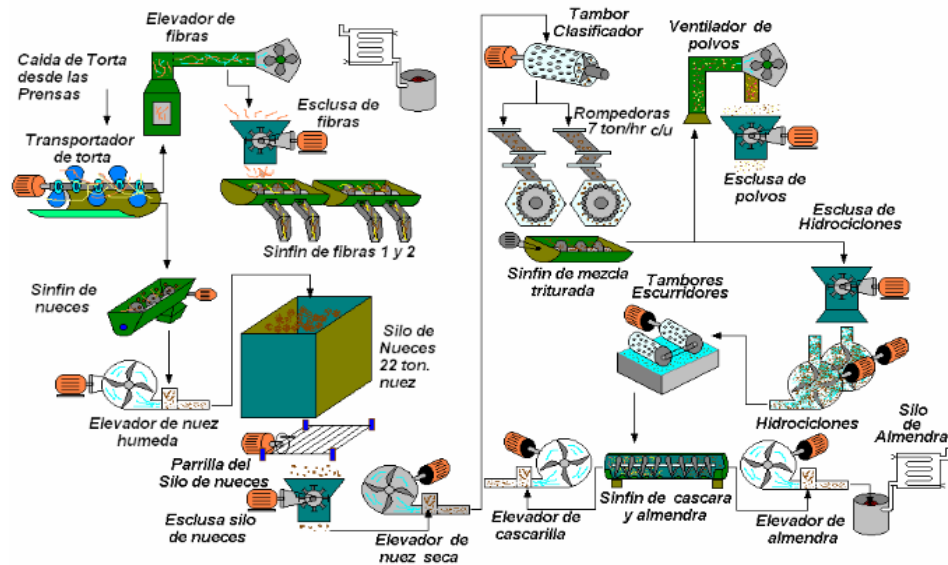


Fuente: El autor

En esta sección se encuentran los expellers o prensas de aceite de palmiste y el sinfín de torta.

### Esquema de Palmistería

Figura 19. Esquema de la sección de palmistería



Fuente: Bohórquez, Oscar. Sistema de información para el control de mantenimiento de la planta extractora de aceite de palma Agroince Ltda. y CÍA. S.C.A

### 3.2.10. Sección Molienda.

Figura 20. Sección molienda.



Fuente: El autor

Etapa del proceso en la cual se separa y almacena el residuo sólido de la extracción de aceite de semilla; equipos pertenecientes a esta sección: sinfin de torta, elevador de torta columna de torta, ciclón de torta y esclusa de torta.

### 3.2.11. Sección De Tamizado Y Filtrado.

Figura 21. Sección de tamizado y filtrado.



Fuente: El autor

En esta sección se realiza la filtración por malla y lona, es decir, se realiza la puesta a punto del aceite para llevarlo a despacho; equipos encontrados en esta sección: sinfines, bomba de aceite tamizado, filtros de prensa, bombas de filtros y compresor de palmistería.

### 3.2.12. Sección Generación de Vapor.

**Figura 22. Sección generación de vapor.**



Fuente: El autor

Las calderas representan el corazón de toda planta de beneficio de aceite de palma, estas son las encargadas de generar el vapor para la cocción del fruto, calentamiento de silos, tanques, clarificadores y digestores; en esta sección existen equipos tales como calderas, ventiladores, bombas, ciclones, esclusas, tanques de agua, distribuidor de vapor, todos estos equipos para la generación de vapor que es suministrado a la sección de esterilización para el cocinado del fruto y además ese calor se utiliza en otras aplicaciones de las diferentes secciones.

### 3.2.13. Sección de Despachos.

**Figura 23. Sección despachos.**



Fuente: El autor

En esta sección se encuentran ubicados los tanques de almacenamiento de aceite de palma o aceite rojo y tanques de almacenamientos de aceite de palmiste además se localizan equipos como bomba de despacho de aceite de palma, bomba de reenvío de aceite y bomba de aceite de palmiste.

### 3.2.14. Sección de Planta y Red Eléctrica

**Figura 24. Sección de planta y red eléctrica.**



Fuente: El autor

En esta sección se abastece y se suple la energía necesaria para el proceso, se tienen equipos como dos plantas cummis una de 313VA y de 500VA, además un transformador de 630KVA y un ahorrador de energía (Ecoelectric).

### **3.2.15. Sección de Acueducto y Tratamiento de Aguas.**

**Figura 25. Sección de acueducto y tratamiento de aguas.**



Fuente: El autor

La sección de acueducto y tratamiento de aguas los equipos encontrados son: filtros de arena, suavizadores, bombas suavizadoras, bomba de tanque pulmón, bomba de tanque elevado, tanque salmuera, agitador de sal y demás equipos, con estos equipos se adecua el agua de abastecimiento a calderas, proceso y consumo del personal.

### **3.3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION A TRAVES DE FICHAS TECNICAS Y HOJAS DE VIDA DE LOS EQUIPOS**

Agroince Ltda. Y Cía. S.C.A, presenta unos documentos de información de algunos equipos presentes en la actualidad como fichas técnicas y hojas de vida,

pero aún falta tener una información más óptima y completa de todos los equipos por cada una de las secciones y de la planta en general.

Para una información más completa de los equipos en funcionamiento de la planta se realiza un levantamiento de todos los activos presentes en cada una de las secciones, que permitan en conocer la información de operación para el mantenimiento de los equipos e historiales de hoja de vida.

El formato de ficha técnica e historia de vida de los equipos llevado por la empresa extractora, para la gestión del mantenimiento es el siguiente:

**Tabla 1. Ficha técnica de equipos.**

 <b>AGROINCE LTDA Y CIA S.C.A</b> <b>PLANTA EXTRACTORA</b> <b>FICHA TECNICA DE EQUIPOS</b>						
<b>DATOS GENERALES</b>						
<b>EQUIPO:</b>					<b>CODIGO MAQUIN</b>	
<b>MARCA:</b>					<b>MODELO:</b>	
<b>SERIE:</b>					<b>FECHA DE INSTALACIÓN:</b>	
<b>CAP NOMINAL:</b>					<b>CAPACIDAD ACTUAL:</b>	
<b>CLASE:</b>					<b>TIPO DE SENSOR:</b>	
<b>FUNCION DE LEO</b>						
<b>PROVEEDOR:</b>						
<b>DIRECCION:</b>						
<b>PERSONA CONTACTO</b>						
<b>TELEFONO</b>						
<b>DATOS ESPECIFICOS</b>						
<b>MOTORES ELECTRICOS</b>						
Marca	Hp	Amp	RPM	Se pueda parar a 440 Vac	A QUE TABLERO PERTENE CE?	Forma construct iva
Tamaño	Clave o Ref	Tip de Protección	HP motor	RPM motor	Voltaje	Amperaje
curasa	Clase Térmica	F. Servicio	Peso (Kg)	Rendimen tu lado	Rendimen tu lado	Retenidu r motor

Fuente: Empresa Agroince Ltda. Y Cía. S.C.A.

**Tabla 2. Historia de los equipos.**

CODIGO	SECCION	01	SECCION: RECEPCION	CODIGO DEL EQUIPO	4					
<b>HISTORIA DE EQUIPO DE LA MESA DE TRANSFERENCIA</b>										
Fecha	SISTEMA ELECTRICICO / PLATAFORMA / REDUCTOR	SISTEMA ELECTRICICO	RUEDAS	TABLERO ELECTRICICO	MTTO GENERAL					
28-may-13		X								
30-jun-13			X							
09-jul-13	X									
13-oct-13				X						
18-oct-13	X									
17-ago-14	X									
17-ago-14		X								
11-sep-14										
28-nov-14										
11-feb-15										

Fuente: Empresa Agroince Ltda. Y Cía. S.C.A.

El formato de fichas técnicas y hojas de vida de los equipos, se escoge el formato de referencia de la empresa, donde con el registro de la información, se conoce los diferentes equipos sus especificaciones técnicas, sus intervenciones de mantenimientos, datos de condiciones de funcionamiento y datos de operación y recomendación del fabricante.

Con la información técnica, se averigua además de las características de los equipos repuestos de los mismos.

**3.3.1. Realizar Tomas De Datos A Equipos Para Su Información.** Para la toma de los datos técnicos de operación de los equipos se realiza el levantamiento de información de equipo por equipo en cada una de las secciones de la planta extractora, observando placas de los equipos, algunos equipos no presentaban placa por caída ocasionada por el tiempo o por las condiciones de uso en el ambiente que produjeron que equipos presentaran placas deterioradas o perdidas.

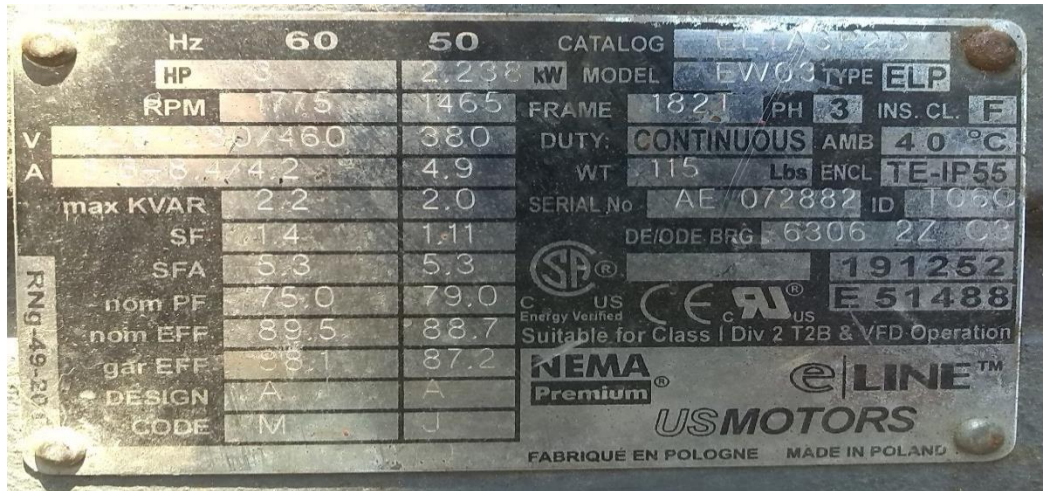
Basados en el tamaño de equipos o de otros similares según la marca se llegó a identificar las características de equipos para la debida obtención de información para ir alimentando la información de los activos, para una información más precisa de características técnicas de funcionamiento de los equipos se revisaron manuales y catálogos.

**Figura 26. Motor y bomba de lodos florentinos.**



Fuente: El autor

Figura 27. Placa del motor de lodos florentinos.



Fuente: El autor

Figura 28. Placa de la bomba de lodos florentinos.



Fuente: El autor

Con la realización de la toma de información de los datos técnicos de funcionamiento de los equipos, hay mucha más precisión a la hora de intervenir el equipo conociendo sus partes y sus repuestos basados en la referencia de cada equipo y en la hoja de vida que se tiene de cada una de ellos.

Se realizó el inventario y levantamiento de la información de los equipos y se identifica a que sección pertenece en la planta, su funcionamiento dentro del proceso de extracción de aceite, sea aceite rojo y aceite de palmiste. Se da inicio a un programa de gestión al mantenimiento preventivo con camino a un mantenimiento productivo total (TPM) con enfoque a una mejor eficiencia real de producción que de la mano del mantenimiento aumentaría los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad de los procesos y de los equipos de la planta extractora.

La información con la que se contaba de los equipos de la planta extractora Agroince LTDA. Y CÍA. S.C.A., no se encontraba actualizada ya que presenta información de años atrás y no tenían en cuenta las modificaciones y cambios de equipos hechos a cada una de las secciones de la planta, para llevar a cabo una información más sofisticada y detallada de los activos presentes, se empezó a depurar la información, se escoge la documentación que concuerda con cada uno de los equipos que se cuentan en la actualidad para llevarla al sistema de información para la gestión del mantenimiento.

Después de llevar a cabo la recopilación de información de los equipos, subequipos, componentes mecánicos y tableros eléctricos por cada sección. Se empieza a organizar los datos para actualizar la información.

Se revisa y se corrige con la información que se contiene de los equipos, con la orientación de manejar estrategias preventivas para mantenimiento, para generar órdenes de trabajo, permisos de trabajos trabajando en conjunto con la seguridad industrial con formatos para análisis de riesgos de accidentes de trabajo.

**3.3.2. Realizar Formatos de Procedimientos de Trabajos de los Equipos.** Con la información ya argumentada y registrada de los equipos de las diferentes


secciones de la planta y de la información de hoja de vida, se lleva a la de realizar formatos para intervenir en el mantenimiento del equipo, teniendo en cuenta su operación y las recomendaciones que el fabricante ha dado para el funcionamiento óptimo e ideal del activo.

Los formatos realizados para realizar estas actividades de mantenimiento preventivo para una mayor disponibilidad y confiabilidad del equipo, manteniendo en un buen indicador la producción en el proceso de la planta, se insertan formatos, de órdenes de trabajos, permisos de trabajo y análisis de riesgos por oficio y análisis de criticidad equipos.

El presente formato de permiso de trabajo para llevar acabo la autorización del mantenimiento a realizar con autorización de la sección de producción, para el bloqueo de los equipos a intervenir, para evitar accidentes al no tener equipos señalados o bloqueados por mantenimiento, y así mismo el encargado de mantenimiento especifique el diagnóstico realizado, sugerencias y apruebe la entrega del equipo funcionando a producción.

### FORMATO DE PERMISO DE TRABAJO.

**Tabla 3. Formato permiso de trabajo.**

<b>PERMISO DE TRABAJO</b>		
<b>FECHA:</b>	<b>PERMISO DE TRABAJO N°:</b>	
<b>AGROINCE LTDA Y CÍA. S.C.A.</b>		
<b>SECCIÓN MANTENIMIENTO</b>		
Tipo de trabajo a realizar:		
Equipo a intervenir:		


<b>EJECUTORES DEL TRABAJO</b>		
Nombre	Cargo	
Brigadistas:		
Tiempo en horas requerido:		
Equipos o áreas a desbloquear, etiquetar o señalar:		
<b>RESPONSABLE O QUIEN AUTORIZA EL TRABAJO POR PARTE DE MANTENIMIENTO</b>		
NOMBRE:	FIRMA:	
<b>SECCIÓN PRODUCCIÓN</b>		
Equipos o áreas autorizadas a bloquear, etiquetar o señalar:		
<b>AUTORIZACIÓN DE JEFE DE PRODUCCIÓN</b>		
NOMBRE:	FIRMA:	
<b>RESPONSABLE MANTENIMIENTO</b>		
NOMBRE:	FIRMA:	
<b>SECCIÓN DE FINALIZACIÓN Y CIERRE DE PERMISO MANTENIMIENTO</b>		
¿Los equipos o áreas anteriormente autorizadas para intervenir se encuentran disponibles para producción?	SI	NO
¿Han sido revisados previamente y probados en compañía del superior de producción o encargado?	SI	NO
<b>PERSONA QUE ENTREGA EQUIPO A PRODUCCIÓN</b>		
NOMBRE:	FIRMA:	
<b>PERSONA QUE RECIBE EQUIPO O ÁREA DE SATISFACCIÓN</b>		
NOMBRE:	FIRMA:	
<b>SECCIÓN CONTROL</b>		
Hora de inicio:	Hora de finalización:	
Resultados de la intervención (Datos, medidas, inconvenientes, sugerencias no planeadas y encontrados):		


Fuente: El autor





Formato análisis de riesgos, donde el trabajador identifique que elementos y equipos a utilizar y sugiera con practica lo que se necesita para realizar el oficio.

**Tabla 5. Formato de análisis general de riesgos por oficio.**

		<b>ANALISIS GENERAL DE RIESGOS POR OFICIO (AGRO)</b>					
REALIZADO POR:							
<b>EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL REQUERIDOS</b>							
Casco de seguridad con barbuquejo	S	N	N	Arnés tipo rescate	S	N	N
	I	O	A		I	O	A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			
Gafa de seguridad con banda ajustable	S	N	N	Cuerda o eslinga	S	N	N
	I	O	A		I	O	A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			
Guantes de cuero	S	N	N	Mascarilla para material particulado	S	N	N
	I	O	A		I	O	A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			
Respirador de cartucho	S	N	N	Calzado dieléctrico	S	N	N
	I	O	A		I	O	A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			
Trípode	S	N	N	Equipo autocontenido	S	N	N
	I	O	A		I	O	A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			
Medidores de los gases y vapores	S	N	N	Andamios	S	N	N
	I	O	A		I	O	A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			
Botiquín	S	N	N	Extintor	S	N	N
	I	O	A		I	O	A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			
Cinta demarcación	S	N	N	Elementos de señalización	S	N	N
	I	O	A		I	O	A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			
Polainas	S	N	N	Guantes dieléctricos	S	N	N
	I	O	A		I	O	A


				<b>ANALISIS GENERAL DE RIESGOS POR OFICIO (AGRO)</b>							
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?							
<b>AGREGAR EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL O COMENTARIO</b>											
<b>ELEMENTOS DE PROTECCION CONTRA CAIDA Y SISTEMAS DE ACCESO NECESARIO PARA ESTE TRABAJO</b>											
Mecanismos de anclaje			S I	N O	N A	Mosquetones			S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?							
Puntos de anclaje			S I	N O	N A	Eslinga para restricción			S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?							
Líneas de vida horizontal cable			S I	N O	N A	Eslinga para posicionamiento			S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?							
Líneas de vida horizontal cuerda			S I	N O	N A	Eslinga para detención			S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?							
Líneas de vida vertical cable			S I	N O	N A	Arnés de seguridad			S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?							
Líneas de vida vertical cuerda			S I	N O	N A	Poleas			S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?							
Grúas con canasta			S I	N O	N A	Elevadores o montacargas			S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?							
Escaleras portátiles(tijera, sencilla, extensión)			S I	N O	N A	Gorros para poste			S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?							
<b>AGREGAR ELEMENTOS DE PROTECCION CONTRA CAIDA O COMENTARIO</b>											

				<b>ANALISIS GENERAL DE RIESGOS POR OFICIO (AGRO)</b>			
<b>TRABAJO EN CALIENTE</b>			<b>RIESGO ELECTRICO</b>				
¿Se encuentra el equipo o zona libre de gases, presión, piso mojado o húmedo, elementos combustibles?	S I	N O	N A	¿Ha sido el equipo identificado y desconectado eléctricamente?	S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				
¿Verifico el estado de los equipos?	S I	N O	N A	¿Área demarcada y señalizada?	S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				
¿Se encuentra equipos y herramientas en buen estado?	S I	N O	N A	¿Se inspecciono las conexiones, tableros y Subestaciones?	S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				
¿Se realizó la inducción al personal en la prevención de riesgos?	S I	N O	N A	Todas las fuentes de alimentación de equipo han sido bloqueadas y etiquetadas.	S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				
¿Cuenta con un extintor disponible en el punto de trabajo?	S I	N O	N A	Se han tenido en cuenta las distancias mínimas de seguridad.	S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				
¿Cuenta el área con suficiente aireación?	S I	N O	N A	Los circuitos y/o equipos a trabajar han sido previamente identificados.	S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				
<b>ESPACIOS CONFINADOS</b>			<b>TRABAJO EN ALTURAS</b>				
¿Realizo inspección previa al sitio?	S I	N O	N A	Sistema de protección contra caídas	S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?			¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				
¿Se ha revisado si hay presencia de tuberías y/o cableado de cualquier tipo?	S I	N O	N A	Área demarcada y señalizada	S I	N O	N A

				<b>ANALISIS GENERAL DE RIESGOS POR OFICIO (AGRO)</b>					
								¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?	
¿Se verifico las condiciones físicas de las personas que ingresan?		S I	N O	N A	Se realizó inspección a los equipos de trabajo y herramientas		S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?					
¿Verifico el estado de los equipos y elementos de protección personal?		S I	N O	N A	Inspección a escaleras (parales, peldaños, trava, peldaños, polea, cuerda y zapatas.)		S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?					
¿Se encuentra el personal capacitado en primeros auxilios?		S I	N O	N A	Cuenta con sistema de aseguramiento para las herramientas y equipos		S I	N O	N A
¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?				¿Sí o no identificar el riesgo o peligro?					
<b>OBSERVACIONES</b>									

Fuente: El autor

**Tabla 6. Formato de encuesta de análisis de criticidad.**

													
<p><b>FORMATO PARA ENCUESTA ANALISIS DE CRITICIDAD</b></p> <p>PERSONA _____ ÁREA _____</p> <p>SECCIÓN _____</p> <p>EQUIPO _____ FECHA _____</p>													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">1. FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA)</th> <th style="width: 50%;">2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. MTTR.</th> </tr> <tr> <td>No más de 1 por año</td> <td>Menos de 4 horas</td> </tr> <tr> <td>Entre 2 y 15 por año</td> <td>Entre 4 y 8 horas</td> </tr> <tr> <td>Entre 16 y 30 por año</td> <td>Entre 8 y 24 horas</td> </tr> <tr> <td>Entre 31 y 50 por año</td> <td>Entre 24 y 48 horas</td> </tr> <tr> <td>Más de 50 por año (más de una parada semanal)</td> <td>Más de 48 horas</td> </tr> </table>		1. FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA)	2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. MTTR.	No más de 1 por año	Menos de 4 horas	Entre 2 y 15 por año	Entre 4 y 8 horas	Entre 16 y 30 por año	Entre 8 y 24 horas	Entre 31 y 50 por año	Entre 24 y 48 horas	Más de 50 por año (más de una parada semanal)	Más de 48 horas
1. FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA)	2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. MTTR.												
No más de 1 por año	Menos de 4 horas												
Entre 2 y 15 por año	Entre 4 y 8 horas												
Entre 16 y 30 por año	Entre 8 y 24 horas												
Entre 31 y 50 por año	Entre 24 y 48 horas												
Más de 50 por año (más de una parada semanal)	Más de 48 horas												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION</th> <th style="width: 50%;">4. COSTO REPARACION(MILLONES DE PESOS)</th> </tr> <tr> <td>No afecta la producción</td> <td>Menos de 3 millones</td> </tr> <tr> <td>25% de impacto</td> <td>Entre 3 y 15 millones</td> </tr> <tr> <td>50% de impacto</td> <td>Entre 15 y 35 millones</td> </tr> <tr> <td>75% de impacto</td> <td>Más de 35 millones</td> </tr> <tr> <td>La afecta totalmente</td> <td></td> </tr> </table>		3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION	4. COSTO REPARACION(MILLONES DE PESOS)	No afecta la producción	Menos de 3 millones	25% de impacto	Entre 3 y 15 millones	50% de impacto	Entre 15 y 35 millones	75% de impacto	Más de 35 millones	La afecta totalmente	
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION	4. COSTO REPARACION(MILLONES DE PESOS)												
No afecta la producción	Menos de 3 millones												
25% de impacto	Entre 3 y 15 millones												
50% de impacto	Entre 15 y 35 millones												
75% de impacto	Más de 35 millones												
La afecta totalmente													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">5. Impacto ambiental</th> <th style="width: 50%;">6. Impacto en salud y seguridad personal</th> </tr> <tr> <td>No origina ningún impacto ambiental</td> <td>No origina heridas ni lesiones</td> </tr> <tr> <td>Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta</td> <td>Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días</td> </tr> <tr> <td>Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta</td> <td>Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente</td> </tr> <tr> <td>Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios</td> <td>Ocasiona lesiones irreversibles</td> </tr> </table>		5. Impacto ambiental	6. Impacto en salud y seguridad personal	No origina ningún impacto ambiental	No origina heridas ni lesiones	Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días	Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente	Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios	Ocasiona lesiones irreversibles		
5. Impacto ambiental	6. Impacto en salud y seguridad personal												
No origina ningún impacto ambiental	No origina heridas ni lesiones												
Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días												
Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente												
Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios	Ocasiona lesiones irreversibles												


Fuente: El autor

**3.3.3. Organizar Rutinas De Mantenimiento De Los Equipos.** Tarea realizado por el jefe de mantenimiento en colaboración con su equipo de trabajo. Con el fin de garantizar el correcto desarrollo de las actividades de mantenimiento.

**3.3.4. Diligenciar Las Fichas Técnicas Para Cada Equipo.** Llevado acabo la organización y la documentación de todas fichas técnicas de cada uno de los equipos, se observa el consecutivo de equipo para en cada sección se procede al registro y a diligenciar sus fichas técnicas.

Ficha técnica de la bomba de aceite húmedo.

**Tabla 7. Ficha técnica de la bomba de aceite húmedo.**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	AGROINCE LTDA Y CIA S.C.A								
	PLANTA EXTRACTORA								
	FICHA TECNICA DE EQUIPOS								
DATOS GENERALES									
Bomba de aceite humedo									
DATOS ESPECIFICOS									
Motor									
Marca	Tamaño	Forma constructiva	clave o ref	Tipo de proteccion	HP del motor	RPM Motor	Voltaje	Amperaje	
Weg W22				IP55	3.7(5.0)kW(HP)	1160	220/440	16.1/8.06	
COSENO	Clase termica	F. servicio	Peso (kg)	Diametro eje motor	cuñero	Frecuencia	Fp	clasificacion	
		1.15	57	8.1mm(1(1/2)	10mm	60Hz	0.72	S1	
MODELO	INS CL.	RODAMIEN O	RODAMIEN O	LUBRICACION					
TE1BFOXO		6308 - ZZ	6207 - ZZ	MOBIL POLYREX EM					
Bomba									
Marca	MODELO	SERIE		Diametro eje bomba					
VIKING PUMP	AK4195 IHM	12261060		25.4mm(1")					
<span>◀ ▶ ...</span> <span>Clarificador N°1</span> <span>Clarificador N°2</span> <span>Clarificador N°3</span> <span>Bomba de aceite humedo</span> <span>Tanque secadori ...</span> <span>⊕</span> <span>⋮</span>									

Fuente: El autor

### 3.4. EL INVENTARIO TÉCNICO DE EQUIPO.

La identificación de los equipos gracias al inventario, ayuda para el registro de tareas preventivas o reparaciones, es necesario disponer una información completa y confiable referente a la ubicación del activo.

Para seguir una buena codificación se recomienda llevar a cabo la norma ISO 14224 para un sistema de codificación aplicado. La codificación facilita la identificación inequívoca de los equipos, cuyo lenguaje debe manejar ítems de manera simple y de fácil acceso para todos los usuarios. Se considera de guía la Norma ISO 14224 para codificar los activos físicos de la planta extractora.

Con el inventario de todos los equipos operantes en la producción, para efectuar la codificación, desglosando en orden consecutivo el equipo pertinente a cada sección.

En la asignación de un código por cada una de las secciones de producción.

### 3.5. CÓDIGOS ASIGNADOS POR SECCIÓN

**Tabla 8. Códigos asignados para cada una de las secciones de la planta extractora.**

<b>SECCIÓN</b>	<b>EQUIPO</b>
RECEPCIÓN	RC
ESTERILIZACIÓN	ET
DESFROTAMIENTO	DF
PRENSADO	PR
CLARIFICACIÓN	CL
DEFIBRADO	DD
TRITURACIÓN	TC
SECADO Y ALMENDRA	SA

<b>SECCIÓN</b>	<b>EQUIPO</b>
EXTRACCIÓN PALMISTERÍA	EP
TAMIZADO Y FILTRADO	TF
MOLIENDA	ML
GENERACIÓN VAPOR	GV
DESPACHOS	DP
PLANTA Y RED ELÉCTRICA	PE
ACUEDUCTO Y PLANTA TRATAMIENTO	AP
EFLUENTES	EF
EDIFICACIÓN	ED
SEGURIDAD INDUSTRIAL	SI
TALLER	TL

Fuente: El autor

### 3.5.1. Codificación general de equipos.

**Tabla 9. Clasificación general de códigos por equipos**

<b>EQUIPOS</b>	<b>CODIGO</b>
BASCULA	BC
UNIDAD HIDRAULICA DE TOLVAS	UT
TOLVAS DE FRUTO	TF
MESA DE TRANSFERENCIA	MS
MALACATE	ML
RIELES	RL
ESTERILIZADOR	ET
UNIDAD DE AIRE COMPRIMIDO	UC
PUENTE GRUA	PG
IZAJE PUENTE GRUA	IP
TRASLACION PUENTE GRUA	TP
VOLTEO PUENTE GRUA	VP
ALIMENTADOR DESFRUTADOR	AD
TAMBOR DESFRUTADOR	TD
SINFÍN	SF
TRANSPORTADOR TUSA	TR
TOLVA TUSA	TT
UNIDAD HIDRAULICA TUSA	US
ELEVADOR FRUTO	EF
DIGESTOR	DG
PRENSA	PR
TANQUE	TQ

<b>EQUIPOS</b>	<b>CODIGO</b>
TAMIZ	TZ
BOMBA	BB
PRECLARIFICADOR	PC
SEDIMENTADOR	SD
COLUMNA	CM
ELEVADOR NUEZ	EN
ELEVADOR ALMENDRA	EA
ELEVADOR CASCARILLA	EC
ELEVADOR TORTA	ER
CLARIFICADOR	CL
TORRE ENFRIAMIENTO	TE
DESERENADOR	DS
TRANSPORTADOR	TR
CICLON	CN
TAMBOR PULIDOR	TP
TAMBOR CLASIFICADOR	TF
TAMBOR ESCURRIDOR	TE
FILTROCEPILLO	FC
RIPPER	RP
HIDROCICLON	HC
AGITADOR	AG
CENTRIFUGAS	CF
ESCLUSA	EC
MOLINO PARTIDOR	MP
COMPRESOR PALMISTERIA	CP
EXPELLER	EX
CALDERA	CD
VENTILADOR	VT
DISTRIBUIDOR	DS
PLANTA CUMMIS	CU
TABLEROS	TB
SUAVISADOR	SV
SILO	SL
PARRILLA	PA
FLORENTINOS	FL
FILTRO	FT
TRANSFORMADOR	TF
ECOELECTRIC	EL

Fuente: El autor

También se realiza la adición de dos dígitos más que presenta el material que contienen los equipos.

### 3.6. CLASIFICACIÓN DE MATERIA PRIMA.

**Tabla 10. Códigos por clasificación de materia prima.**

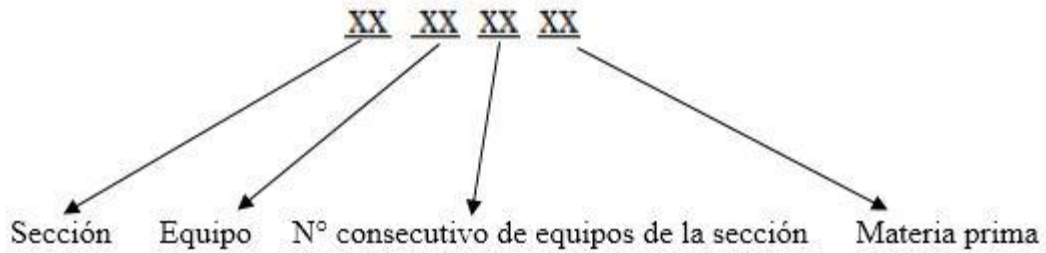
MATERIAL TRANSPORTADO	CODIGO
POLVOS	PV
AGUA PROCESO	HP
AGUA CONSUMO	HH
CONDENSADOS	HC
VAPOR	HV
ACEITE CRUDO	AC
ACEITE TERMINADO	AT
ACEITE RECUPERADO	AR
LODOS	LO
AIRE	AI
TUSAS	TU
FRUTOS	FR
TORTA	TR
NUEZ	NZ
FIBRA	FB
ALMENDRA	AL
CASCARILLA	CC
ENERGIA ELECTICRA	EE
CENIZA	CZ

Fuente: El autor

A partir de la clasificación de los equipos fundamentado en la Norma ISO 14224 se establece codificar los equipos, la cual utilizada en la industria del petróleo y gas, se puede extender a otras industrias, como la industria de la extracción de aceite de palma.

Esta guía de codificación de equipos.

**Figura 29. Guía de codificación de equipos.**



Fuente: El autor

**Ejemplo de la guía de codificación de equipos.**

BASCULA CAMIONERA. RC BC 01 FR

**3.7. BASE DE DATOS PARA EL SOFTWARE DE MANTENIMIENTO CENISIIC.**

El Sistema Integrado de Información para Plantas de Beneficio (CeniSiiC PB's) es una aplicación en mejoramiento continuo que permite la gestión integrada de la información generada al interior de las diversas áreas en las plantas de beneficio, cuya administración se realiza a través de los módulos para Gestión de Producción, Mantenimiento y Confiabilidad, Laboratorio y Calidad, Gestión de Almacén e Inventarios, Servicios Industriales, Costos de Producción y Mantenimiento, Sostenibilidad y Marco Ambiental, Gestión Integral de Riesgos y Seguridad Industrial. La plataforma CeniSiiC PB's hace parte de la Suite CeniSiiC, al igual que la plataforma para la gestión y monitoreo de los Indicadores de Desempeño Industrial (CeniSiiC KPI's) con fines de referenciación competitiva y benchmarking para el gremio.

Figura 30. Plataforma de CeniSiiC



Fuente: Cenipalma

Las fichas técnicas para los equipos, en la plataforma de CeniSiiC se encuentran ubicado en el módulo de Mantenimiento y Confiabilidad en el sistema de información se lleva el historial de intervenciones realizados a los activos.

La empresa por medio de este software debe plantear controles programados de mantenimiento, para aumentar la eficiencia. Disponibilidad y rendimiento de los equipos, llevando a cabo actividades de mantenimiento preventivo.


**Figura 31. Ficha técnica.**

APLICATIVO\_CeniSiic\_Agroince\_V1-25 - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

H7 : X ✓ fx N/A

A B C D E F G H I J K L M N O P

1 **CeniSiic**  **Agroince** **Código HV**  
 Sistema Integrado de Información Computarizada **cenipalma** **HOJAS DE VIDA EQUIPOS** **000033**  
 Plantas de Beneficio Programa de Procesamiento

2 **Información Básica**

Nombre Equipo	Prensa Nº 1	Area:	DIGESTION Y PRENSADO
Modelo:	N/A	Módulo y Criticidad Extr. de Aceite:	APC Alta
Marca:	N/A	Proveedor:	N/A
Capacidad y Unidad de Medida:	7,4 ton/h	Estado:	ACTIVO
Centro de costo:	200104	Fecha instalación:	01/01/2000
Tipo de equipo:	PRODUCCION	Código del Manual:	N/A

3 **Datos de Placa**

Potencia (HP):	
Consumo agua (m <sup>3</sup> /h):	
Consumo vapor (kg/Vapor/h):	
Consumo de lubricante (gal):	Ref. lubricante

4 **Características generales**

5 **Plan de Mantenimiento Programado**

Frec.	Tipo	Hora	Rutina de intervencion	Requerimiento
	EQUIPOS		MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD	

6 **Inicio**

7 **Agregar nuevo equipo**

8 **Guardar datos**

9 **Borrar todo**

10 **Consultar Equipos**

11 **Guardar cambios**

12 **Centros de Costos**

13 **Dependencias de Equipos Primarios**

14 **Asignar Categorías de Equipos**

15 **Imprimir**

16 **Borrar**

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26 **BD-EQUIPOS** **BD-CENTRO\_COSTOS** **MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD** **BD-MTTO\_CONFIABILIDAD** **COSTOS** **BD-COSTOS** **BD-NOMINA**

Fuente: Empresa Agroince Ltda. Y Cía. S.C.A.

### 3.7.1. Historial De Los Equipos.

Figura 32. Historial de intervenciones por equipo.

The screenshot displays the CeniSiC software interface. At the top, there is a navigation menu with options like 'Inicio', 'Agregar nuevo equipo', 'Consultar equipo', 'Eliminar equipo', 'Consultar Equipos', 'Gestionar cambios', 'Control de Costos', 'Expendiciones de Equipos Pertenecientes', and 'Agregar Categorías de Equipos'. The main area is divided into sections for equipment information and maintenance history.

**Información Básica**

Nombre Equipo	Dena 101	Area	DEPTO Y PARRAJO
Modelo	101	Plataforma y Cantidad Est. de Acabado	ARC - 101
Marca	SA	Precedencia	101
Capacidad y Unidad de Medida	1.0 (kg)	Estado	ACTIVO
Centro de costo	0000	Fecha Instalación	01/01/2010
Tipo de equipo	PRODUCION	Código del Manual	101

**Datos de Flota**

Potencia (HP)	
Consumo agua (m <sup>3</sup> /h)	
Consumo vapor (kg/hora)	
Consumo de lubricante (gal)	0.1

**Características generales**

**Plan de Mantenimiento Programado**

Frec.	Tipo	Razo	Detalle de intervenciones	Responsable
A				
B				
C				
D				

**Módulo de Intervenciones según Índices de Trabajo**

Fecha	Horas	Tipo de Parada	Tipo de Labor	Código OT	Descripción Solicitud OT	Costo total
09/01/10	242	Programada	Revisión Óptica	1	ot101	\$1,362.00
09/02/10	240	Programada	Revisión de lubricante	2	CAMBIO TORRELLA PARRA	\$1,362.00

Fuente: Empresa Agroince Ltda. Y Cía. S.C.A.

#### **4. PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE AGROINCE LTDA. Y CÍA. S.C.A.**

En concordancia con los objetivos trazados por el proyecto, Se hace necesario el desarrollo de un plan de mantenimiento que haga sostenible la idea de mejoramiento en la producción a partir del departamento y sus acciones. En el presente capítulo se muestra un análisis de criticidad por equipos enfocando cada uno de estos a la tendencia de mantenimiento que le corresponda y dando unas pautas sobre las actividades representativas de cada tendencia, analizando a su vez la posibilidad de llevar a cabo esta clase de operaciones con los recursos presentes en la empresa.

Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, de acuerdo a una figura de mérito llamada "Criticidad"; que es proporcional al "Riesgo" creando una estructura que facilita la toma de decisiones y el direccionamiento del esfuerzo y los recursos hacia las áreas, de acuerdo con su impacto en el negocio. El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias, se registran en una matriz, diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la Instalación, Sistema, Equipo o Dispositivo.<sup>26 27</sup> n

---

<sup>26</sup> BECERRA BOHORQUEZ, Oscar Rodolfo. Sistema de Información Para el Control de Mantenimiento de la Planta Extractora de Aceite de Palma Agroince LTDA. y CIA. S.C.A. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Bucaramanga, Santander, Colombia : Universidad Industrial de Santander, 2004. Pág. 60.

<sup>27</sup> NORMA NORZOK Z-013. Risk and Emergency Preparedness Analysis.

#### 4.1. FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DE CRITICIDAD

El Análisis de Criticidad (AC) es una metodología “semi-cuantitativa” para dimensionar el riesgo que permite establecer jerarquías o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos (ISED´S), de acuerdo a una figura de mérito llamada “Criticidad”; que es proporcional al “Riesgo”: La Criticidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$CRITICIDAD = Frecuencia\ de\ Falla \times Impacto$

La cual es proporcional a la siguiente ecuación:

$RIESGO = Prob.Falla \times Consecuencia.$

La Frecuencia de Falla es proporcional a la probabilidad de falla y el Impacto es proporcional a la Consecuencia de una falla; en consecuencia; CRITICIDAD es Proporcional al RIESGO.

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus impactos o consecuencias. Ambas magnitudes; frecuencias e impactos; se llevan entonces a una matriz; como la mostrada en la Figura 5 que tiene un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la instalación, sistema, equipo o dispositivo bajo análisis.

La figura 33; muestra un típico arreglo de una matriz de riesgo 4x4 semicuantitativa; Puede verse en la figura que el eje de la probabilidad o frecuencia se divide en rangos calificados como Alto, Medio, Bajo y Remoto; y de igual manera se dividen las consecuencias en rangos calificados como Grave; Substancial, Marginal e Insignificante. Estos rangos deben asociarse a valores

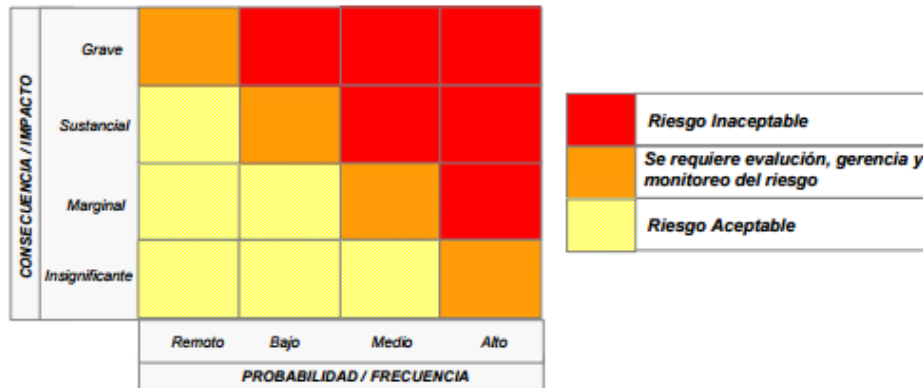
numéricos para estudios cuantitativos y/o a descripciones muy claras para el caso de estudios semi-cuantitativos o cualitativos. En la matriz pueden identificarse tres regiones; a saber

- Región de Riesgo Inaceptable.
- Región de Riesgo Aceptable
- Una región entre las regiones de riesgo aceptable y riesgo inaceptable en la cual se requiere de acciones de evaluación detallada, gerencia y monitoreo del riesgo.

Esta matriz es solo un ejemplo que considera la división en regiones que se muestra la Figura 33 Esta división es la recomendada por la Norma NORZOK Z-013 – “Risk and Emergency Preparedness Analysis”. No obstante, es importante aclarar que para cada proceso, tipo de industria o sistema particular bajo estudio debe establecerse claramente lo que se considerará como riesgo intolerable y lo que se considerará como riesgo tolerable. Esto debe además corresponder a un “gran acuerdo” aceptado a todos los niveles de la organización o proceso donde se utilizará la matriz.

Un aspecto clave en el establecimiento de una matriz de riesgo es la definición de los rangos de probabilidad o frecuencia y de impacto o consecuencias; a continuación se muestran ejemplos de definiciones de estos rangos:

**Figura 33. Matriz de criticidad.**



Fuente: NORMA NORZOK Z-013. Risk and Emergency Preparedness Analysis.

La presentación del estudio de criticidad arroja resultados relevantes, frente a la necesidad de implementar planes de mantenimiento específicos para cada equipo, y guiando la empresa a una confiabilidad superior en su parque de maquinaria, aumentando las expectativas de eficiencia en la producción. El estudio se desarrolló por secciones y los valores de puntuación para cada tema fueron asignados de acuerdo con los topes establecidos por la dirección, basados en la influencia directa de los equipos en la producción, los límites de costos para repuestos o reparaciones, así como la confiabilidad de cada máquina basados en la hoja de vida; a continuación se muestra la presentación general de variables adoptadas en la tabla 11<sup>28</sup>

<sup>28</sup> AGUILAR-OTERO José R. \*, TORRES-ARCIQUE Rocío, MAGAÑA-JIMÉNEZ Diana. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento. Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V. 2010.

**Tabla 11. Modelo Propuesto de Matriz de Criticidad para el Caso.**

**Análisis de la criticidad de los equipamientos**

Ingresar la ponderación para cada criterio del factor de criticidad del equipamiento ( la suma debe ser igual a 100)

Factor de velocidad de manifestación de la falla	25
Factor de seguridad del personal y ambiente	25
Factor de costos de la parada de producción	25
Factor de costos de reparación	25
suma = 100	

**Proceso de diagnóstico**

Introducir el valor 1 para cada factor en la celda verde que mejor describa la situación en caso de que la falla suceda

Factores Equipamientos	Factor de velocidad de manifestación de la falla			Factor de seguridad del personal y ambiente					Factor de costos de la parada de producción			Factor de costos de reparación		
	Periodo P-F			Descripción					Criterio			Clasificación de acuerdo a Pareto		
	Muy corto, no da tiempo para detener la máquina	Corto, es posible detener la máquina	Suficiente, es posible programar la intervención	Sin consecuencias	Efecto temporal sobre personas, no afecta el ambiente	Efecto temporal sobre las personas y ambiente	Efecto irreversible sobre las personas	Efecto irreversible sobre las personas y ambiente	No implica demora en la entrega	Implica demora de corto tiempo en la entrega	Implica demora y pérdida de clientes	Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C
máquina 1	1						1			1	1			
máquina 2		1			1			1			1			
máquina 3		1			1				1		1			
máquina 4			1			1				1	1			
máquina 5		1				1				1	1			
máquina 6		1					1			1		1		
máquina 7	1								1	1		1		
máquina 8	1							1		1			1	
máquina 9		1					1			1			1	
máquina 10			1			1				1		1		
máquina 11		1			1					1		1		
máquina 12		1			1					1		1		
máquina 13			1	1					1		1			


**Informe para el análisis de la criticidad de los equipamientos**

**Criticidad de los equipamientos:**

Equipamiento	Valor	Criticidad
máquina 1	100,0	CRÍTICO
máquina 2	45,0	No crítico
máquina 3	60,0	Semi-crítico
máquina 4	70,0	Semi-crítico
máquina 5	77,5	Semi-crítico
máquina 6	70,0	Semi-crítico
máquina 7	82,5	Semi-crítico
máquina 8	77,5	Semi-crítico
máquina 9	60,0	Semi-crítico
máquina 10	57,5	Semi-crítico
máquina 11	57,5	Semi-crítico
máquina 12	70,0	Semi-crítico
máquina 13	45,0	No crítico

## 4.2. MODELO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD EQUIPOS AGROINCE LTDA Y CIA S.C.A

Tabla 12. Análisis de Criticidad

		FECHA: 7 de Abril de 2015 REALIZADO POR: Ing. Román A. Sarmiento Ferreira Introduzca el valor de 1 en cada casilla de los factores ponderados para el análisis de cada uno de los equipos según el proceso de diagnóstico.		Frecuencia de falla					
								Ninguna falla	
Factores		Código		Nombre del equipo		Entre 2 y 15 por año		Entre 16 y 30 por año	
		AP-BB-11-HP		Bomba pulmon caldera		1			
		AP-BB-12-HP		Bomba retrolavado		1			
		AP-TQ-13-HP		Tanque salmuera Agitador de sal		1			

Fuente: El autor.

PLANTILLA PARA ANALISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS	
	PONDERACION
1. FRECUENCIA DE FALLA	20
2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR	20
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN	20
4. IMPACTO AMBIENTAL	20
5. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	20
Suma	100

PROCESO DE DIAGNOSTICO																
Tiempo promedio para reparar			Impacto sobre la producción				Impacto ambiental			Impacto en salud y seguridad personal						
Menos de 4 horas	Entre 4 y 8 horas	Entre 8 y 24 horas	Entre 24 y 48 horas	Entre 48 horas y una semana	Más de una semana	No afecta la producción	El proceso de operación continua de forma parcial	Se detiene la producción parcialmente	Se detiene totalmente la producción	No origina ningún impacto ambiental	La contaminación ambiental es baja, se presenta en una superficie dura	La contaminación ambiental es alta, el impacto ambiental se presenta en la superficie	No origina heridas ni lesiones	Ocasional heridas o lesiones leves no incapacitantes	Puede ocasionar heridas o lesiones con incapacidad	Ocasional lesiones irreversibles
1						1	1	1	1	1			1			
1							1			1			1			
1						1				1			1			

**ANALISIS DE CRITICIDAD EQUIPOS.**

**CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS.**

EQUIPO	VALOR	CRITICIDAD
Bomba pulmon caldera	30	NO CRITICO
Bomba retrolavado	18	NO CRITICO
Tanque salmuera Agitador de sal	10	NO CRITICO

Ver anexo A Estudio completo de criticidad.

### 4.3. EQUIPOS EN MANTENIMIENTO CORRECTIVO

**4.3.1. Mantenimiento Correctivo.** Según definición “Consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a tener una falla y así sucesivamente.” 1

La aplicación de mantenimiento correctivo implica un alto grado de análisis y responsabilidad sobre los equipos incluidos, debido a que deben conocerse todas las posibles fallas y soluciones de las piezas presentes e incluye la ejecución de acciones rápidas y efectivas frente a imprevistos; por esto la justificación del mantenimiento correctivo sobre una máquina se soporta por cualquiera de los siguientes factores:

- Si el equipo no se halla en una línea o punto crítico del proceso y no ocasiona serios trastornos a la producción o al mantenimiento.
- El equipo se halla en estado de obsolescencia o desuso.
- Existe un equipo gemelo.
- Es fácilmente costeable un nuevo equipo.

Estos factores deben ser evaluados periódicamente de modo que pueda establecerse que la decisión tomada es correcta. El mantenimiento correctivo se divide en:

- **Mantenimiento correctivo de emergencia.** Consiste en reparar las fallas presentadas imprevistamente. Se debe aplicar lo más rápidamente posible con el objetivo de evitar costos, daños materiales y humanos mayores. Resulta aplicable en sistemas complejos donde difícilmente se pueden predecir las fallas y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y

durante un periodo de tiempo no contemplado, sin afectar la productividad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad.

Los inconvenientes que se presentan con esta forma de mantenimiento son: Las fallas pueden presentarse en cualquier momento, las fallas no detectadas a tiempo, pueden causar daños importantes en varios elementos y piezas que se encuentren en buen estado, se debe contar con un stock alto de piezas y repuestos inmovilizado, por último, con referencia al personal, debe ser altamente calificado y sobredimensionado en cantidad pues las fallas deben ser corregidas de inmediato.

- Mantenimiento correctivo programado. Al igual que el anterior, corrige la falla, es denominado también como mantenimiento proactivo; la diferencia con el de emergencia, es que no existe el grado de apremio del anterior, sino que los trabajos pueden ser programados para ser realizados en un futuro normalmente próximo, sin interferir con la producción. En general, se programa la detención del equipo, pero antes de hacerlo, se acumulan tareas a realizar sobre el mismo y se programa su ejecución, para las paradas, se emplean períodos de baja demanda, fines de semana, períodos de vacaciones y horas donde no se causen traumatismos al proceso de producción.

#### **4.3.2. Aspectos de aplicación de mantenimiento correctivo en la planta.**

Frente a la posibilidad de aplicación de mantenimiento correctivo en los equipos es ineludible resaltar que el departamento cuenta con el equipo y elementos necesarios para desarrollar tareas de este tipo, pues de por sí, las acciones que se llevan a cabo en la mayoría de los casos son de esta clase.; los inconvenientes más frecuentes son:

- Requiere más personal para las actividades de mantenimiento.

- Paros continuos y consuetudinarios amenazan la producción.
- Lucro cesante es siempre mayor.
- Ocasiona malestar en el personal y es fuente de conflictos humanos.
- Los equipos pueden sufrir daños irreparables.
- Es difícil hablar de calidad en la gestión del mantenimiento.

**4.3.3. Equipos En Mantenimiento Correctivo.** Comprendidos en este tipo de mantenimiento se enlistan en la tabla 13.

**Tabla 13. Equipos mantenimiento correctivo**

<b>EQUIPOS</b>
Bomba 106roduc caldera
Bomba retrolavado
Tanque salmuera Agitador de sal
Bomba despacho palma
Bomba despacho palmiste
Bomba reenvió de aceite
Pozo 1
Pozo 2
Filtro de arena
Bomba filtro de arena
Suavizadores
Bomba suavizadores
Bomba tanque elevado
Tanque pulmón
Ventilador de aire primario y secundario
Bomba de caldera N°3

<b>EQUIPOS</b>
Ventilador de aire primario N°3
Tanque de aguas calientes calderas
Tanques almacenamiento palmiste
Tanques almacenamiento palma
Ciclón torta
Esclusa torta
Bomba caldera N°1
Ventilador de aire primario
Bomba caldera N°2
Sinfín torta aceitosa
Tamiz aceite turbio
Bomba de aceite tamizado
Filtro de prensa Pequeña
Bomba de filtro pequeña
Filtro de prensa Grande
Bomba de filtro Grande

<b>EQUIPOS</b>
Compresor palmisteria
Sinfín torta
Elevador torta
Columna 107roducció torta
Elevador de almendra humeda
Sinfín almendra humeda N°1
Sinfín almendra humeda N°2
Silo y ventilador almendra circular N°1
Silo y ventilador almendra circular N°2
Sinfín almendra seca
Bascula almendra
Tamiz almendra
Sinfín almendra torta
Sinfín aceite turbio
Esclusa de cascarilla N°2
Sinfín de cascarilla N°1
Sinfín de cascarilla N°2
Sinfín de cascarilla N°3
Elevador de cascarilla
Tambor escurridor
Sinfín nuez corto
Sinfín Distribuidor de nuez
Sinfín Nuez seca
Molino partidor de almendras
Silos de nuez

<b>EQUIPOS</b>
Parrilla de silo de nuez N°1
Parrilla de silo de nuez N°2
Sinfín nuez N°2 inclinado
Elevador de nuez seca
Tambor clasificador
Rippers
Sinfín mezcla triturada
Ciclón cascarilla (polvos)
Esclusa de cascarilla N°1
Columna de fibras
Esclusa columna de fibra
Sinfibras N°1
Sinfibras N°4
Sinfibras N°3
Sinfín bajo tambor pulidor
Tambor pulidor
Elevador nuez humeda
Ventilador secador silo nuez N°1
Bomba desarenadora N°2
Bomba de aceite recuperado N°1
Bomba de aceite recuperado N°2
Bomba de aceite florentinos
Bomba de condensados esterilizador
Transportador torta
Bomba de lodos preclarificados
Bomba de aceite humedo

<b>EQUIPOS</b>
Tanque secador vacio
Bomba hotwelito
Torre de enfriamiento
Bomba hotwell
Bomba desarenadora N°1
Tambor desfrutador N°2
Sinfín distribuidor de fruto
Sinfín retorno de fruto
Tanque agua caliente
Bascula camionera
Tolvas de fruto
Mesa transferencia
Malacate

<b>EQUIPOS</b>
Rieles
Esterilizador
Unidad de aire comprimido
Alimentador al desfrutador
Tambor desfrutador
Sinfín bajo desfrutador
Elevador de fruto
Sinfín inclinado N° 1
Sinfín inclinado N° 2 y Ariche
Sinfín bajo desfrutador N°2
Partidor al desfrutador
Transportador tusa N° 1

#### **4.4. EQUIPOS EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

**4.4.1. Mantenimiento Preventivo.** Se define como “El mantenimiento que se ejecuta a los equipos de una planta en forma planificada y programada anticipadamente, con base en inspecciones periódicas debidamente establecidas según la naturaleza de cada máquina y encaminadas a descubrir posibles defectos que puedan ocasionar paradas intempestivas de los equipos o daños mayores que afecten la vida útil de las máquinas.”<sup>29</sup>

La base informativa para adelantar las acciones preventivas de mantenimiento surge de fuentes internas y externas:

<sup>29</sup> GONZALEZ, Carlos. Conferencias Ingenieria del Mantenimiento. Bucaramanga: Ediciones UIS.

- Fuentes internas: Son los registros e historiales de mantenimiento y reparación existentes en la empresa y que informan sobre todas las actividades realizadas en los equipos e instalaciones durante el tiempo permanencia en la organización.
- Fuentes externas: Son las recomendaciones de mantenimiento que efectúa el fabricante de los equipos.

Los trabajos a realizar dentro de un plan de mantenimiento preventivo incluyen:

- Inspecciones periódicas: Donde se adelantan las acciones de lubricación, limpieza, arranque y parada de equipos, chequeo de protecciones y salvaguardas y el diagnóstico de elementos fundamentales para la operación de equipos e instalaciones.
- Sustitución sistemática: Recambio de partes cada cierto periodo de tiempo.

Como complemento se cuentan las acciones mecánicas y eléctricas que requieran los equipos para su óptimo funcionamiento.

**4.4.2. Aspectos de aplicación de mantenimiento preventivo en la planta.** Los principales inconvenientes presentados en la implementación de mantenimiento preventivo son:

- Cambios innecesarios: Para aumentar la vida útil de un elemento, se procede a su cambio, encontrándose muchas veces, que el elemento que se cambia, podría ser utilizado durante un tiempo más prolongado. En otros casos, al realizar algún trabajo sobre el equipo, se observa la necesidad de reemplazar piezas menores, cuyo costo no es representativo, con el fin de prolongar la vida del conjunto, esto puede incurrir en el reemplazo o cambio prematuro de partes.

- Problemas iniciales de operación: Al no utilizar piezas o repuestos recomendados por el fabricante pueden ocurrir problemas tanto en el montaje como en la operación. Esta situación se da si las piezas no presentan el ajuste recomendado por mala instalación o por usar piezas no adecuadas y sin las especificaciones exigidas, otras veces, es debido a la aparición de fugas o pérdidas que antes de la reparación no existían, este caso se presenta si durante el montaje se modificaron posiciones de piezas que provocan vibraciones por desbalanceo de las partes rotantes.
- Costo en inventarios: Los costos son previsible, permite una mejor gestión del almacén, aunque el costo en inventarios es alto.
- Mantenimiento no efectuado: Si por alguna razón, no se realiza una tarea de mantenimiento prevista, se alteran los períodos de intervención y se producirán traumatismos en la prestación del servicio; debido al atraso de labores pendientes.

**4.4.3. Equipos incluidos en mantenimiento preventivo.** En la tabla 14. Se enlistan los equipos determinados a través de la matriz de criticidad para el mantenimiento preventivo.

**Tabla 14. Equipos incluidos en mantenimiento preventivo.**

<b>EQUIPO</b>
Esclusa bajante de ceniza N°2
Ciclón de ceniza N°3
Esclusa de ceniza N°3
Distribuidor de vapor
Ciclón ceniza N°1
Esclusa de ceniza N°1
Ciclón ceniza N°2
Esclusa de ceniza N°2
Hidrociclón
Columna de polvos

<b>EQUIPO</b>
Filtrocepillos
Tanque florentino, bomba condensado florentinos
Tanque sedimentador
Clarificador
Bomba de aceite terminado
Tamiz circular de lodos
Tolva tusa
Tamiz circular de crudos
Preclarificador

**4.4.4. Programa de acciones preventivas.** Las acciones preventivas se desarrollan sobre los equipos mencionados anteriormente y pretenden preservar los equipos, con el fin de evitar paradas imprevistas.

**Tabla 15. Acciones preventivas equipo hidrociclón.**

<b>HIDROCICLONES</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>CICLO</b>	<b>MES DE INICIO</b>
<b>ACTIVIDAD</b>			
Hacer limpieza	Semanal	1	Enero
Lubricación de rodamientos	Mensual	1	Enero
Comprobar desgaste de impulsor	Mensual	6	Mayo
Hacer limpieza de manómetros	Mensual	1	Enero

Tabulación de acciones preventivas equipos Ver anexo B Acciones preventivas equipos en mantenimiento preventivo.

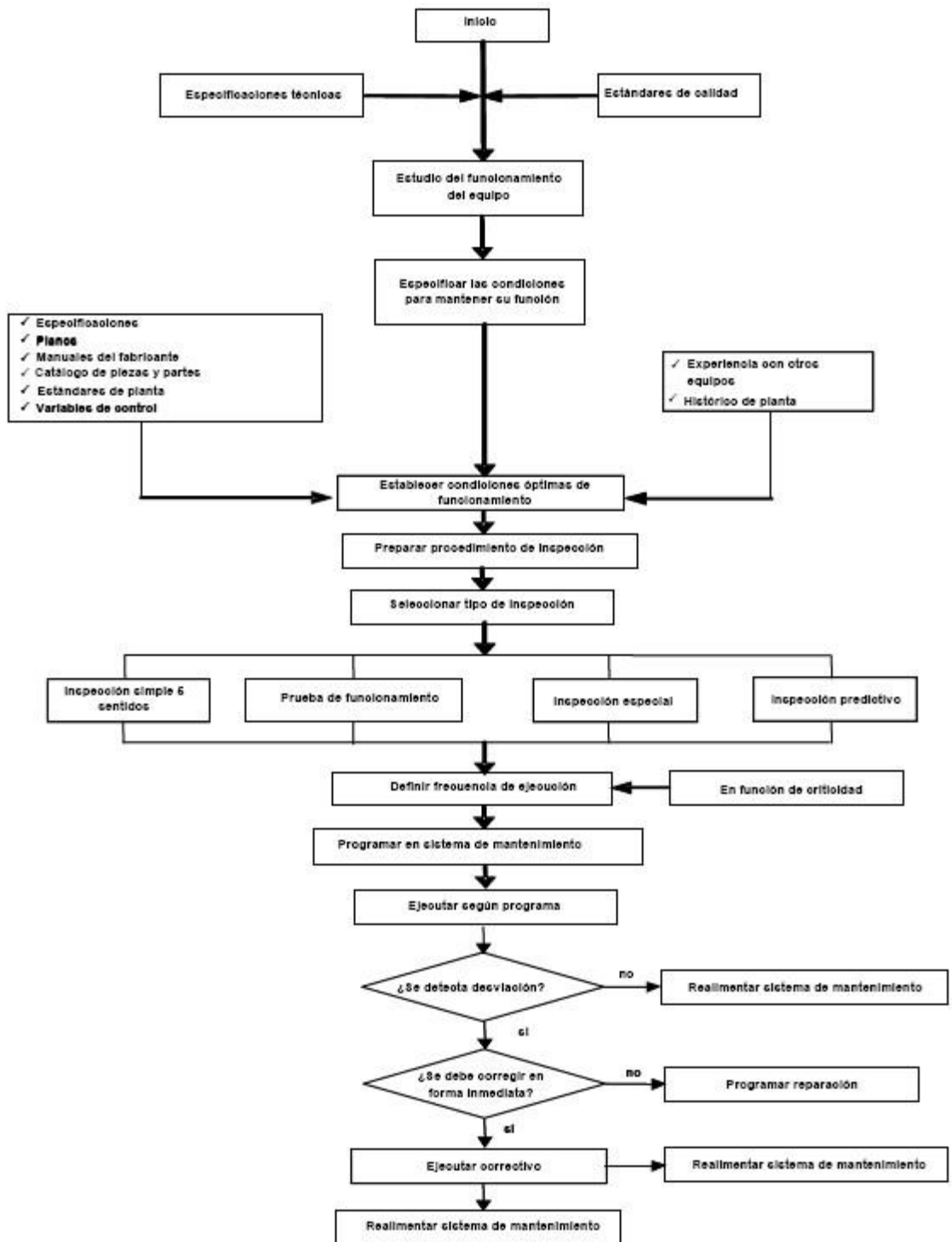
## **4.5. EQUIPOS EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

**4.5.1. Mantenimiento Predictivo.** Es el mantenimiento planificado y programado con base en el estado o condición.

El estado o condición se determina mediante monitoreo de variables tales como, temperatura, presión, humedad, tensión, deformación, movimiento mecánico, vibraciones, impulsos, choques, sonido, ruido, ultrasonido, posición mecánica, acción cíclica, desplazamiento, grado de cambio, tiempo, acidez / ph, descargas, concentración, composición, función eléctrica, función mecánica, función y secuencia, secuencia eléctrica, aceleración, desaceleración, características eléctricas, características magnéticas y electromagnéticas, condición de aceites y otros fluidos.

El procedimiento que se sigue para la aplicación de un programa de mantenimiento predictivo se muestra en la figura 34.

Figura 34. Procedimiento para mantenimiento predictivo



Fuente: El autor.

**4.5.2. Aspectos de aplicación de mantenimiento predictivo en la planta.** El principal inconveniente de desarrollo de este tipo de mantenimiento o actividades, es el equipo utilizado para el monitoreo de variables; por este factor en la mayoría de acciones realizadas se hace contratación de servicios a compañías que prestan la asesoría y efectúan los análisis pertinentes para determinar el estado de los equipos; de esta manera el monitoreo de variables se ejecuta en periodos muy largos del tiempo debido al alto costo de estos estudios.

**4.5.3. Equipos incluidos en mantenimiento predictivo.** En la tabla 4-6. Se enlistan los equipos determinados mediante el análisis de criticidad para este tipo de mantenimiento.

**Tabla 16. Equipos con aplicaciones de mantenimiento predictivo**

EQUIPOS
Motores prensas
Motores digestores
Motores expellers
Motores cetrifugas
Motores ventiladores
Tableros electricos

**4.5.4. Programa de acciones bajo mantenimiento predictivo.** Se realizan análisis de vibraciones para cada uno de los motores con frecuencias semestrales con el fin de evitar los fallos de sus componentes rotativos, si se presenta algún desgaste acelerado fuera de parámetros, a su vez se realizan análisis de aceite con periodicidad bimensual, a los mismos equipos para cotejar con los análisis ya mencionados anteriormente y poder decidir qué acciones tomar, desde cambio de aceites, hasta cambio de componentes.

También se realizan análisis de termografía para los tableros eléctricos.

#### 4.6. RCM

Se realizó (FMECA) análisis de funciones, modos, efectos, consecuencias y causas de fallas par los equipos que fueron determinados como críticos. Para con esto determinar los problemas de los equipos, con el fin de aumentar su confiabilidad y disponibilidad mediante el uso de RCM.

**Tabla 17. .Equipos Críticos**

<b>EQUIPO</b>
Distribuidor de vapor
Ciclón de fibras y ductos
Esclusa rotatoria de fibras
Tambor Pulidor
Columna de fibras
Deslodadora
Expellers
Esterilizadores
Desfrutador
Elevador de fruto
Mesa de transferencia
Digestor
Prensa
Bomba de crudos
Tanque de lodos

Disponibilidad: Es el tiempo total durante el cual el equipo está operando satisfactoriamente, más el tiempo que estando en receso, puede trabajar sin contratiempos durante un período.

$$\text{DISPONIBILIDAD} = \frac{\text{Tiempo de Operación Programado} - \text{Tiempo de Paradas}}{\text{Tiempo de Operación Programado}}$$

Desempeño: Es la velocidad de producción real de un equipo comparada con la ideal o de diseño. Se ve disminuida por las paradas cortas, para corregir defectos en el flujo o por marchas en vacío o para desatascar.

$$\text{DESEMPEÑO} = \frac{\text{Tiempo Teórico del Ciclo} \times \text{Cantidad Procesada}}{\text{Tiempo de Operación}}$$

Calidad: Es la relación entre la cantidad de producción de buena calidad y la producción total. Este indicador se ve afectado por los rechazos o producción defectuosa o porque no satisfacen las especificaciones de calidad.

$$\text{CALIDAD} = \frac{\text{Cantidad Procesada} - \text{Cantidad de Defectos}}{\text{Cantidad Procesada}}$$

**Tabla 18. Análisis FMECA Puente Grúa.**

SISTEMA: PUENTE GRUA		Facilitador:	Fecha:	Hoja N°:		
SUBSISTEMA: IZAJE		Auditor:	Fecha:	de:		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA	CAUSA
	1	2	3	4		
1 Llevar vagonetas desde el piso de esterilización, hasta zona de desfrutado, en un tiempo máximo de 80 segundos.	A	Incapaz de subir vagoneta	1 Guayas en mal estado	1 La guaya se rompe generando la caída del brazo del puente grúa.	Falta de lubricación de la guaya	
			2 Tambores de izaje obstruidos	2 Sistema de transmisión boqueado	Chumaceras y rodamientos deteriorados	
			3 Pasadores de enganche desajustados	3 Imposible enganchar vagoneta	Vibración excesiva del brazo de izaje	
			4 Vagoneta torcida	4 Uno de los pasadores no engancha	Forma de halar vagonetas en la línea de esterilización inadecuada	
2 Trasladar vagoneta desde zona de desfrutado hasta tolva del desfrutador en un tiempo máximo de 20 segundos	B	Tiempo superior a 80 segundos en el izaje de la vagoneta	1 Motorreductor averiado	1 Eje de salida del reductor no gira a la velocidad necesaria	Engranaje del reductor en mal estado y/o rodamientos frenados	
			2 Poleas de guaya frenadas	2 Guaya no desliza en la polea	Falta de lubricación buje de la polea	
	A	Incapaz de trasladar vagoneta	1 Sistema de transmisión averiado	1 Carro de traslación inmóvil	Cadena y/piñón dañados	
	B	Tiempo superior a 20 segundos en el traslado de vagoneta	2 Ruedas conducidas y conductoras desgastadas	2 Carro de traslación descarrilado	Falta de inspección y reemplazo de ruedas.	
3 Voltear vagoneta en tolva del desfrutador en un tiempo máximo de 5 segundos	1	Motorreductor averiado	1 Motorreductor averiado	1 Eje de salida del reductor no gira a la velocidad necesaria	Engranaje del reductor en mal estado y/o rodamientos frenados.	
			2 Deslizamiento de las ruedas	2 El carro en algunas secciones gira y demora en avanzar	Rieles en mal estado	
	A	Incapaz de voltear vagoneta	1 Sistema de transmisión averiado	1 Brazos de volteo no giran en sentido horario	Cadena rota o desgastada	
	B	Tiempo de volteo superior a 5 segundos	2 Eje roto	2 El eje gira sin transmitir movimiento a los brazos de volteo	Fatiga de materiales y falta de inspecciones programadas	
		1 Motorreductor averiado	1 Eje de salida del reductor no gira a la velocidad necesaria	1 Engranaje del reductor en mal estado y/o rodamientos frenados.		

FMECA equipos críticos ver anexo c

## 4.7. TPM

Se establecieron ciertas acciones encaminadas en implementar algunos de los pilares básicos del TPM, los cuales hablan de involucrar al personal de operaciones en el cuidado básico e inspecciones rutinarias de los equipos para asegurar su correcto estado para funcionamiento.

Algunas de las acciones desarrolladas se listan a continuación:

- Levantamiento de información para fichas técnicas y hojas de vida de los equipos.
- Desarrollo de los formatos de procedimientos de trabajo para los equipos.
- Proposición de creación de una lista de chequeo para los operarios previo a tomar control de los equipos.
- Propuesta para socialización de TPM, en el contexto educativo del personal.

**4.7.1. Programa de acciones para TPM.** La acción principal a desarrollar consiste en monitorear el comportamiento de los programas trazados anteriormente y calcular la EGP eficiencia global de producción periódicamente para cada equipo teniendo como factor principal la determinación en los niveles de desempeño y calidad, basados en las capacidades suministradas por el fabricante para cada máquina; pudiendo tener así, un patrón óptimo de comparación.

El siguiente paso consiste en revisar las rutinas y contrastarlas con los tipos de falla presentados; logrando precisar la causa de la falta y la posible corrección y acción de prevención, encaminada a su anulación.

**EGP = DISPONIBILIDAD X VELOCIDAD X INDICE DE CALIDAD**

#### 4.8. INDICADORES

Se proponen indicadores basados en los archivos históricos de los equipos y los intereses de las directivas:

- % Paradas no programadas
- % Paradas programadas
- Utilización de planta
- Tiempo efectivo procesando
- Factor utilización

MES	% Paradas No	% Paradas	Utilización	Tiempo efectivo	* Factor
	Programadas	Programadas	Planta	Procesando	utilización
ene-15	3,91	8,21	0,96	0,88	0,91
feb-15	1,96	14,57	0,98	0,84	0,87
mar-15	2,64	11,28	0,97	0,86	0,86

Fuente. Cenipalma

Ver anexo D Indicadores.

## 5. CONCLUSIONES

- Se desarrolló una descripción detallada del proceso de extracción de aceite de palma africana, determinando los principales equipos y procesos, elaborando un diagnóstico de los principales problemas existentes en la planta a día de hoy, para así conocer el panorama del departamento de mantenimiento de la planta.
- Se efectuó un inventario de los equipos mecánicos y eléctricos y se procedió a hacer un análisis de criticidad para determinar cuáles son los equipos más importantes de la planta, calificándolos de manera consiente y real, utilizando una matriz de riesgo.
- Se plantearon programas de mantenimiento para equipos no críticos y semi críticos, para con estas estrategias impactar de formas importantes y mejorar la situación actual de los activos a posterior.
- Teniendo en cuenta la metodología del RCM se establecieron las funciones de quipos, modos de falla, efectos y causas de la misma, que permitirán definir actividades de mantenimiento aplicables y efectivas, basadas en consideraciones que tienen que ver con las consecuencias que la ocurrencia de las fallas conllevan.
- En la planta de beneficio extractora de aceite se ha inicio un acercamiento bastante concienzudo del Mantenimiento Productivo Total, que permite asegurar el normal funcionamiento de los sistemas, máquinas, equipos y

auxiliares de planta, maximizando su eficiencia dentro del proceso para el cual han sido diseñados, aumentando el tiempo de su vida útil.

## 6. RECOMENDACIONES

Una de las maneras para la estrategia del TPM se pueda poner en funcionamiento de manera exitosa es que la gerencia comunique la razón de ser del cambio estratégico que se quiere iniciar en la planta de extracción con tanta claridad y en una forma que logre el interés en un principio y un compromiso total en todos los niveles para llevar a cabo esta estrategia. Se debe crear el suficiente entusiasmo y compromiso para lograr que la puesta en práctica del TPM sea una verdadera campaña contra todo lo que sea el malgasto en la empresa. Sin embargo, no existe o es imposible contar con un sin número de trayectorias posibles para implantar con éxito la estrategia TPM en la planta de beneficio. Los pasos sugeridos por el TPM deben ser tomados como patrones concretos para afrontar el trabajo. La implantación del TPM en empresas nacionales es muy poco estudiada, la mejor evidencia de lo que se debe hacer o no se debe hacer proviene de las experiencias vividas y de las lecciones aprendidas por los directivos y de algunas compañías. Algunos de los puntos que se deben tener en cuenta en la reflexión para el inicio de una estrategia como TPM.

- Diseñar una organización con los componentes, capacidades y recursos para llevar a cabo la estrategia. El equipo directivo de una planta de extracción, como en nuestro ejemplo debe formar un comité de TPM. Cada directivo o pequeños grupos de directivos constituyen el equipo líder de cada pilar TPM. El objetivo de esto consiste en involucrar a todos los directivos en la toma de decisiones y de ejecutar las acciones de TPM. La coordinación de estos equipos la debe realizar la gerencia. El segundo elemento organizativo es la coordinación. No es recomendable asignar al proyecto una sola persona de la empresa, especialmente con la interpretación de “responsable”. Esta forma de

diseño de organización deficiente puede conducir a dificultades en la realización de la estrategia del TPM. Una tercera figura organizativa son los equipos de trabajo en el ámbito operativo. Estos equipos son los responsables de ejecutar numerosas acciones del TPM.

- Asignar presupuestos para el desarrollo de la estrategia del TPM. Implantar TPM implica realizar acciones que requieren grandes inversiones. Es posible que la más significativa tiene que ver con la recuperación de los activos a su condición más cercana a la original. Si se pretende mejorar el nivel de productividad de una planta, es necesario mejorar la gestión de los equipos, mejorar el mantenimiento preventivo y esto exige inversiones que se recuperarán posteriormente con los mejores niveles de rentabilidad y utilización de los diferentes equipos. Otro factor es la formación técnica de los niveles operativos y la mejora de la capacidad de gestión cargos administrativos.
- Desarrollar sistemas de comunicación eficaces que permitan que el personal de la empresa pueda realizar su trabajo enfocado a los objetivos de la empresa. El TPM se apoya en modelos de comunicación informales como encuentros, jornadas internas, comunicación visual, entre otros, como medios para mantener el entusiasmo de los trabajadores con los objetivos establecidos. Un buen ejemplo son las reuniones de trabajadores en los empalmes de turnos en una fábrica para comentar logros, plan de trabajo de acciones del TPM y problemas rutinarios.
- Crear un ambiente de trabajo participativo y de capacidad para resolver problemas en forma autónoma. Crear una cultura de creer en todas las capacidades del trabajador, esto ayudará a introducir acciones propias presentes en el TPM. Esto exige que la dirección promueva la formación

permanente del trabajador y la asignación gradual de responsabilidades mayores.

- La posterior implantación del programa se dividirá en tres fases: La fase funcional, dirigida a los sistemas, máquinas y equipos de planta, la fase de recursos humanos enfocada al entrenamiento y capacitación del personal de la industria de detergentes; y, la fase técnica, que es la gestión del Mantenimiento Productivo Total propiamente dicho.
- La fase funcional de implantación del programa de Mantenimiento Productivo Total es la más importante porque permitirá conocer los sistemas, máquinas, equipos y auxiliares de planta involucrados en el proceso productivo, y de esta consolidar los sistemas críticos y a su vez planificar el mantenimiento de una mejor manera que de la manera tradicional, dando prioridad a los mismos.
- En la fase relacionada al recurso humano, se desarrollara un plan de entrenamiento y capacitación intensiva a los grupos ocupacionales de mantenimiento, producción, y administrativo de planta, logrando optimizar al recurso humano mediante el desarrollo de sus habilidades y de trabajo conjunto de los grupos ocupacionales.
- En la fase Técnica, un importante paso es el de mejorar el sistema de las órdenes de trabajo, que nos ayudara a obtener buenos resultados, aplicando un mantenimiento dirigido, planificado y controlado involucrando al personal de producción y mantenimiento, aumentando la eficiencia y eficacia de las acciones. De estas órdenes de trabajo de mantenimiento se derivara un historial de mantenimiento más completo e informado de la situación de los diferentes activos de la planta.

- Mediante esta estrategia del TPM se lograra estandarizar las actividades de mantenimiento en las diferentes áreas de producción, es decir, especificar el tiempo que se requiere para realizar dichas actividades, los recursos que se necesitan y frecuencia para realizarlas, situación que permitirá tener un mantenimiento planificado, organizado, dirigido y controlado, pretendiendo en los próximos periodos extenderlos hacia las otras áreas de la planta.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR OTERO José R. \*, TORRES ARCIQUE Rocío, MAGAÑA JIMÉNEZ. Diana. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento. Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V. 2010.
- BECERRA BOHORQUEZ, Oscar Rodolfo. Sistema de Información Para el Control de Mantenimiento de la Planta Extractora de Aceite de Palma Agroince LTDA. y CIA. S.C.A. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Bucaramanga, Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2004. Págs. 3-6,60.
- BORRAS PINILLA, Carlos. Principios del mantenimiento. Bucaramanga : Universidad industrial de Santander UIS, 2011.
- GONZALEZ, Carlos. Conferencias Ingeniería del Mantenimiento. Bucaramanga: Ediciones UIS.
- LA COMBINACION DEL TPM Y RCM. Estudio de Un Caso Práctico. Moore, Ron. 1999, Fiabilidad, Mantenibilidad y Mantenimiento Proactivo, págs. 49 - 56.
- MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. s.l. : Fuentes litográficas limitada, 2014.
- MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina: ELLMAN, SUEIRO Y ASOCIADOD, 2004. Págs. 6-22.

- NASA. Reliability Centered maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment.. 2000.
- NORMA NORZOK Z-013. Risk and Emergency Preparedness Analysis.
- R. ORLANDO, T. ALEXANDER, T. WILSON. Estrategia de Mantenimiento para la Nueva Planta de Gas de Ecopetrol S.A.

# ANEXOS

VER ARCHIVO DE ANEXOS DE MONOGRAFIA: DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO  
APLICADO A LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA AGROINCE LTDA Y CIA S.C.A