

**ELABORACIÓN DE DOCUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN
PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA
INDUPALMA LTDA.**

JULIAN ANDRÉS SANABRIA DELGADO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2011

**ELABORACIÓN DE DOCUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN
PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA
INDUPALMA LTDA.**

JULIAN ANDRÉS SANABRIA DELGADO

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

**CARLOS RAMÓN GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ
Ingeniero Mecánico**

Codirector

**LUISA FERNANDA ESPAÑA
Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2011

DEDICATORIA,

*Este trabajo de grado lo dedico a quienes siempre estuvieron
apoyándome:*

A Dios por todos aquellos regalos de mi vida.

A mi Madre, por ser la autora y dueña de lo que soy.

A mi Padre, por su constante guía y apoyo.

A toda mi familia, por creer en mí.

A Jaky por su comprensión y amor.

A todos mis amigos y compañeros

Gracias... este triunfo es de ustedes.

AGRADECIMIENTOS,

A Dios, por darme la oportunidad de tener personas tan valiosa a mi lado y brindarme una guía en cada uno de mis pasos.

Al Ingeniero Carlos Ramón González Director del proyecto, por sus valiosos aportes y sugerencias, por enseñarme a aprender.

A Javier Blanco, Jefe de Mantenimiento de la planta de extracción, por su valiosa orientación y amistad en el desarrollo de mi proyecto.

A la Ingeniera Luisa Fernanda España, Directora del Departamento Industrial de la Empresa Indupalma Ltda. Por brindarme amistosamente las herramientas necesarias para elaborar mi trabajo dentro de la empresa.

Al cuerpo docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica por ser la fuente de mi formación profesional y la base de mi autocrítica.

A todos los funcionarios de Indupalma Ltda. por demostrarme el sentido del esfuerzo común y entregar desinteresadamente apoyo a este proyecto

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. INDUPALMA LTDA	19
1.1 HISTORIA DE LA ORGANIZACIÓN	19
1.2 CONSTITUCIÓN	20
1.3 OBJETO SOCIAL DE LA EMPRESA	20
1.4 UBICACIÓN	20
1.5 PRODUCTOS Y COMERCIALIZACIÓN	21
1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	22
1.7 ALCANCES Y METAS	23
1.8 DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO	23
1.8.1 La Organización Administrativa del Área.	23
1.8.2 Documentación Técnica existente.	25
1.8.3 La Planeación de los Mantenimientos.	26
1.8.4 Personal del Área de Mantenimiento.	28
1.8.5 Costos de mantenimiento.	29
1.8.6 Instalaciones y equipos de la sección.	29
1.8.7 Servicios de terceros.	30
1.8.8 Conclusión del estudio.	31
2. PROCESO DE BENEFICIO EN LA PLANTA EXTRACTORA INDUPALMA LTDA	32
2.1 GENERALIDADES	32
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	36
2.2.1 Recepción de Fruto.	38
2.2.2 Esterilización.	39

2.2.3	Desfrutación.	41
2.2.4	Digestión y Prensado.	45
2.2.5	Clarificación.	48
2.2.6	Almacenamiento de Aceite Crudo.	54
2.2.7	Sistemas Auxiliares.	55
3. INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO DE LOS EQUIPOS DE PROCESO EN LA PLANTA BENEFICIO		63
3.1	SECCIÓN RECEPCIÓN DE FRUTO	64
3.2	SECCIÓN DE ESTERILIZACIÓN	65
3.3	SECCIÓN DESFRUTACIÓN	65
3.4	SECCIÓN DIGESTIÓN Y PRENSADO	66
3.5	SECCIÓN CLARIFICACIÓN	67
3.6	SECCIÓN ALMACENAMIENTO DE ACEITE CRUDO	69
3.7	SISTEMAS AUXILIARES	69
4. MEJORA EN EL PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE BENEFICIO INDUPALMA LTDA		71
4.1	ESTUDIO GENERAL DE CRITICIDAD POR EQUIPOS	71
4.1.1	Sección Recepción de Fruto.	74
4.1.2	Sección esterilización.	75
4.1.3	Sección Desfrutación.	76
4.1.4	Sección Digestión y Prensado.	77
4.1.5	Sección Clarificación.	78
4.1.6	Sección de Almacenamiento de Aceite crudo.	79
4.1.7	Sistemas Auxiliares	80
4.2	EQUIPOS EN MANTENIMIENTO CORRECTIVO	81
4.2.1	Mantenimiento Correctivo.	81
4.2.2	Aplicación de mantenimiento correctivo en la planta.	83
4.2.3	Equipos en mantenimiento correctivo.	83

4.2.4 Partes susceptibles a falla.	85
4.2.5 Programa de acciones proactivas.	87
4.3 EQUIPOS EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	91
4.3.1 Mantenimiento Preventivo.	91
4.3.2 Aplicación de mantenimiento preventivo en la planta.	92
4.3.3 Equipos incluidos en mantenimiento preventivo.	93
4.3.4 Partes susceptibles a falla.	95
4.3.5 Programa de acciones preventivas.	97
4.4 EQUIPOS EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO	104
4.4.1 Mantenimiento Predictivo.	104
4.4.2 Aplicación de mantenimiento predictivo en la planta.	105
4.4.3 Equipos con aplicación de mantenimiento predictivo.	105
4.4.4 Partes susceptibles a falla.	105
4.4.5 Programa de acciones predictivas.	107
4.5 PROPUESTA DE MEJORA A DOCUMENTOS TÉCNICOS	108
5. RUTAS DE INSPECCIÓN.	111
5.1 TERMOGRAFIA	112
5.2 ANALISIS DE VIBRACIONES	114
5.3 ANALISIS DE ACEITES USADOS	119
5.4 MEDICION DE ESPESORES POR ULTRASONIDO	122
5.5 RUTA DE CONTROL DE RODAMIENTOS	125
5.6 RUTA DE AMPERAJE	127
5.7 RUTA DE LUBRICACIÓN	129
6. CONCLUSIONES	131
BIBLIOGRAFIA	132

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación Geográfica de la Planta Beneficio	21
Figura 2. Organigrama de la empresa INDUPALMA LTDA	22
Figura 3. Formato diario para reporte de las labores	25
Figura 4. Programación mensual de Mantenimiento	27
Figura 5. Perfil, cargo y funciones	28
Figura 6. Palma de aceite y fruto en corte	32
Figura 7. Distribución general Planta Beneficio de INDUPALMA LTDA	34
Figura 8. Diagrama Flujo de proceso de planta extractora de aceite de palma	37
Figura 9. Recepción de Fruto	38
Figura 10. Sistema de transporte de fruta suelta	39
Figura 11. Esterilización. Diagrama Presión vs Tiempo	40
Figura 12. Esterilizadores	41
Figura 13. Diagrama de proceso Sección Desfrutación	42
Figura 14. Variador de Tolva	43
Figura 15. Tambor Desfrutador	44
Figura 16. Diagrama de proceso Sección Digestión y Prensado	45
Figura 17. Digestor	46
Figura 18. Prensa P20	47
Figura 19. Esquema Sección Clarificación	48
Figura 20. Tamiz circular	49
Figura 21. (a) Clarificador 1 (b) Vista interior del Clarificador	50
Figura 22. Columnas de Secado	51
Figura 23. (a) Centrifugas (b) Esquema proceso de centrifugado	53
Figura 24. Pozos Florentinos	54
Figura 25. Sección Almacenamiento de aceite rojo	55
Figura 26. Esquema Floculador	56

Figura 27. Filtros para tratamiento de agua	57
Figura 28. Equipos de suavización.	58
Figura 29. (a) Caldera Towler, (b) Caldera Vyncke, (c) Bombas Alimentación agua a las calderas.	60
Figura 30. Distribuidor de vapor	61
Figura 31. Planta Caterpillar y Turbina Shinko.	62
Figura 32. Sala de maquinas.	62
Figura 33. Criterios de Calificación de equipos	63
Figura 34. Matriz de criticidad.	73
Figura 35. Matriz criticidad--Recepción de Fruto	74
Figura 36. Matriz de criticidad--Esterilización	75
Figura 37. Matriz de criticidad--Desfrutación	76
Figura 38. Matriz de criticidad--Digestión y Prensado	77
Figura 39. Matriz de criticidad--Clarificación	79
Figura 40. Matriz de criticidad--Almacenamiento de Aceite rojo	80
Figura 41. Matriz de criticidad-- Sistemas Auxiliares	81
Figura 42. Mantenimiento Predictivo	104
Figura 43. Formato Programación de Mantenimiento	109
Figura 44. Formato de Programa de Mantenimiento de Limpieza	110
Figura 45. Ruta termografía--Base de datos	113
Figura 46. Punto de inspección para el análisis de vibración	114
Figura 47. Ruta de vibraciones	118
Figura 48. Etiqueta para toma de muestra.	120
Figura 49. Resultado del laboratorio	121
Figura 50. Medición de espesores por ultrasonido	124
Figura 51. Fonendoscopio	125
Figura 52. Ruta control de Rodamientos.	126
Figura 53. Toma de medida de amperaje a motores	127
Figura 54. Ruta de Amperaje	128
Figura 55. Ruta de lubricación	130

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ventajas y falencias en la Organización del mantenimiento	24
Tabla 2. Planeación de Mantenimiento	27
Tabla 3. Clasificación de maquinaria por secciones	35
Tabla 3. (Continuación)	36
Tabla 4. Ciclo de esterilización	40
Tabla 5. Calificación Sección Recepción de Fruto	64
Tabla 6. Sección Esterilización	65
Tabla 7. Sección Desfrutación	66
Tabla 8. Sección Digestión y Prensado	67
Tabla 9. Sección Clarificación	68
Tabla 10. Almacenamiento de Aceite Rojo	69
Tabla 11. Sistemas Auxiliares	70
Tabla 12. Variables aplicadas en el estudio de criticidad	72
Tabla 13. Valores de Criticidad -- Recepción de Fruto	74
Tabla 14. Valores de Criticidad--Esterilización	75
Tabla 15. Valores de Criticidad--Desfrutación	76
Tabla 16. Valores de Criticidad--Digestión y Prensado	77
Tabla 17. Valores de criticidad--Clarificación	78
Tabla 18. Valores de criticidad--Almacenamiento de Aceite rojo	79
Tabla 19. Valores de Criticidad -- Sistemas Auxiliares	80
Tabla 20. Equipos en Mantenimiento Correctivo	84
Tabla 21. Elementos susceptibles a falla en equipos de mantenimiento correctivo	85
Tabla 22. Programa acciones proactivas--Tolva	88
Tabla 23. Programa acciones proactivas--Transportador de fruta suelta	88

Tabla 24. Programa acciones proactivas--Transportador de pepa	88
Tabla 25. Programa acciones proactivas--Tambor Limpiador de Pepa	88
Tabla 26. Programa acciones proactivas--Variador de Tolva	89
Tabla 27. Programa acciones proactivas--Sinfín bajo desfrutador	89
Tabla 28. Programa acciones proactivas--Transportador transversal de fruto	89
Tabla 29. Programa acciones proactivas--Transportador distribuidor de fruto	90
Tabla 30. Programa de acciones Proactivas--Tanque Clarificador	90
Tabla 31. Programa de acciones proactivas--Bombas de Clarificación	90
Tabla 32. Programa acciones proactivas--Almacenamiento de Aceite rojo	91
Tabla 33. Equipos de Mantenimiento Preventivo	93
Tabla 34. Elementos susceptibles a falla equipos de mantenimiento preventivo	95
Tabla 35. Programación preventiva--Unidad Hidráulica	98
Tabla 36. Programación preventiva--Vagonetas y chasis	98
Tabla 37. Programación preventiva-- Tractor Jhon Deere y cargador Caterpillar	98
Tabla 38. Programación preventiva--Bombas de condensados	98
Tabla 39. Programación preventiva--Esterilizadores	99
Tabla 40. Programación preventiva--Monorriel Demag	99
Tabla 41. Programación Preventiva--Tambor Desfrutador	100
Tabla 42. Programación Preventiva--Transportador de tusa	100
Tabla 43. Programación Preventiva--Elevadores de Fruto	100
Tabla 44. Programa Preventivo--Digestores	101
Tabla 45. Programa Preventivo--Prensas	101
Tabla 46. Programa Preventivo--Transportador de Arriche	102
Tabla 47. Programa Preventivo--Bomba desarenadora	102
Tabla 48. Programa Preventivo--Filtros Cepillo	102
Tabla 49. Programa Preventivo--Separadores de lodo	103
Tabla 50. Programa Preventivo--Ciclones Desarenadores	103
Tabla 51. Programa Preventivo-- Bomba de recirculación de lodos	103
Tabla 52. Equipos en Mantenimiento Predictivo	105
Tabla 53. Equipos en mantenimiento Predictivo	106

Tabla 54. Programación preventiva y acciones Predictivas--Calderas	107
Tabla 55. Programación preventiva y acciones Predictivas--Turbina Shinko	107
Tabla 56. Programación preventiva y acciones predictivas--Planta Caterpillar	108
Tabla 57. Nivel de severidad en vibración de acuerdo con la norma ISO 10816	115
Tabla 58. Niveles de severidad para evaluación de rodamientos	116
Tabla 59. Resumen análisis de aceite usados.	120

RESUMEN

TITULO: ELABORACION DE DOCUMENTACION DEL SISTEMA DE INFORMACION PARA LA GESTION DEL MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA INDUPALMA LTDA *

AUTOR: JULIAN ANDRES SANABRIA DELGADO **

PALABRAS CALVES: Documentación, Aceite de Palma, Sistema de información, Gestión de mantenimiento, Diagnostico de equipos.

DESCRIPCIÓN:

El proyecto se desarrolló en Indupalma Ltda., justificado en la necesidad de alinear el software para la gestión de mantenimiento, Impact XP, con la producción en tiempo real, basándose en la organización y documentación de la información confiable y oportuna que sirva como soporte al mantenimiento de equipos y complemento a la producción.

La documentación y organización permiten que la gestión del mantenimiento se lleve a cabo de manera eficiente, obteniendo información real de acuerdo a las condiciones de producción. Además estudios como el Análisis de Criticidad permiten identificar variables críticas, que al ser analizadas, se obtienen nuevos criterios para la planeación y programación del mantenimiento. El estudio se inicia con un diagnóstico del Área de mantenimiento y una descripción detallada del proceso y maquinaria empleada en la extracción de aceite rojo crudo, se identificó el estado actual de los equipos y se definieron las acciones a efectuar. Posteriormente se estudió el índice de criticidad en los equipos y se trazó un programa de actividades para cada uno de ellos, documentando la información. Se realizó una propuesta de mejora a los documentos técnicos existentes y se crearon unas rutas de inspección, obteniendo formatos de fácil interpretación y aplicación.

Al finalizar el estudio se obtiene como resultado una documentación y organización de la información que permite definir criterios, que junto con el software, hacen del sistema de información actual una herramienta más útil para la Gestión de Mantenimiento de la empresa Indupalma Ltda., aumentando el nivel de producción a partir de la confiabilidad y desempeño en los equipos.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ing. Mecánica. Director Carlos Ramón González Bohórquez. Codirector: LUISA FERNANDA ESPAÑA

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM DOCUMENTATION FOR MAINTENANCE MANAGEMENT COMPANY LTD INDUPALMA *

AUTHOR: JULIAN ANDRES SANABRIA DELGADO.**

KEY WORDS: Documentation, palm oil, information System, maintenance management, equipment diagnosis.

DESCRIPTION:

The project was developed in Indupalma Ltd., justified by the need to align the software for maintenance management, Impact XP, with real-time production based on the organization and documentation of reliable and timely information to serve as support maintenance of equipment and as complement to the production.

The documentation and operation allow maintenance management is carried out efficiently, obtaining real information according to production conditions. Also studies as the criticality analysis to identify critical variables, which when it is analyzed, we obtain new criteria for planning and scheduling maintenance.

The study begins with an assessment of the maintenance area and a detailed description of the process and machinery used in the extraction of crude red oil, that identified the status of your current equipment and defined actions to be performed.

After that we studied the criticality index of equipment and we laid out a program of activities for each of them, documenting the information. It made a proposal to improve existing technical documents and creates inspection routes, getting friendly formats interpretation and application.

At the end of the study was obtained as a result of documentation and organization of information that defines criteria, which together with the software, make the current information system a more useful tool for Maintenance Management Indupalma Company Ltd., increasing production level from the reliability and performance in teams.

* Work of Grade

** Physical Faculty of Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering. Director CARLOS RAMÓN GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ. Codirector: LUISA FERNANDA ESPAÑA

INTRODUCCIÓN

La globalización de los mercados y las proyecciones de crecimiento para el sector de aceites y grasas en el mundo, particularmente de oleaginosas como la palma de aceite en el caso Colombiano; derivadas de la necesidad de aceite crudo para los diferentes procesos industriales, en especial de aceites vegetales para la fabricación de biocombustibles, hace necesario estudiar y avanzar en mejoras para los procesos de esta industria, implementando nuevas filosofías de trabajo que con una baja inversión logren organizar y documentar sus métodos de trabajo a través de una gestión enfocada a mejorar la calidad y productividad en los procesos de extracción de aceites.

El sector palmero nacional se caracteriza por presentar altos costos de producción por tonelada de aceite crudo de palma, superiores al costo promedio de Malasia e Indonesia, mayores productores a nivel mundial.

Indupalma Ltda., empresa colombiana pionera en la agroindustria de la palma de aceite, ha venido implementando en forma continua estrategias de mantenimiento en su planta extractora con el fin de asegurar beneficios a través de prácticas económicas y seguras. En su interés por mejorar y actualizar la gestión para el mantenimiento de la planta extractora, ha permitido el desarrollo de este proyecto que tiene como objetivo la documentación y organización de la información técnica enfocada a alinear las prácticas de mantenimiento con la producción en tiempo real.

El proceso de extracción de aceite crudo de palma está dividido en sub procesos, cada uno de ellos con equipos específicos que fueron verificados y diagnosticados estableciendo un paralelo con las rutinas de mantenimiento existentes, toda la información pertinente fue revisada, analizada y documentada, orientándola en un proceso de mejora continua para optimizar los criterios de planeación y programación del mantenimiento.

Con el desarrollo de este proyecto de grado se buscó establecer un panorama general del estado actual de la gestión de la información en el área de mantenimiento, estableciendo una base para generar aportes de mejoramiento al identificar falencias en su aplicación. Con el aporte de todo el equipo de mantenimiento y la participación de los operarios durante el desarrollo del proyecto, se recolectaron propuestas de mejora para la inspección y documentación, dirigidas a aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Finalmente se complementó la gestión de información de mantenimiento con un análisis de criticidad, que junto con la información del software Impact XP, permitieron crear nuevas rutas de inspección; con la aplicación de estas herramientas se logra un aporte eficaz al crecimiento y mejoramiento del Área de Mantenimiento.

1. INDUPALMA LTDA

1.1 HISTORIA DE LA ORGANIZACIÓN

En 1961 se firma la escritura de constitución de Industrial Agraria la Palma Indupalma S.A., hoy INDUPALMA LTDA., esta empresa agroindustrial basada en la palma de aceite, nace de la iniciativa de Don Moris Gutt, de proveer aceite a la Fábrica de Grasas y Productos Químicos–Grasco, empresa que el mismo fundó una década antes.

La planta piloto de la nueva empresa fue montada y empezó a funcionar en 1965 bajo la dirección del ingeniero mecánico belga Raymond Van Tit, ya en 1966 se contrató la construcción, montaje y puesta en marcha de la nueva planta extractora, se aplicó en ella la mejor tecnología disponible para la época, con equipos importados en su mayoría de Holanda. El 08 de octubre de 1967, con la presencia del Presidente de la República, Dr. Carlos Lleras Restrepo, la inauguración de la nueva planta extractora fue un acontecimiento nacional.

Hoy la planta extractora tiene una capacidad de procesamiento de 60 toneladas de fruto fresco por hora, cuenta con equipos modernos que aseguran procesos eficientes y la obtención final de productos de excelente calidad, con una operación enmarcada en el respeto y la protección del medio ambiente.

Indupalma Ltda., continúa hoy siendo pionera a nivel nacional en la agroindustria de la palma de aceite, ha obtenido las certificaciones ISO 9001, ISO 14001, KOSHER, en 2006 obtuvo el Premio Nacional de la Calidad, trabajando con un modelo de responsabilidad social empresarial que genera desarrollo económico y social sostenible.

1.2 CONSTITUCIÓN

Indupalma se constituye hoy como Banca de inversión y Operación de proyectos de palma y caucho, abierta para ofrecer su experiencia a otros inversionistas y cultivadores; apertura para recibir servicios de cooperativas y unidades autónomas empresariales, y apertura para desarrollar un modelo de propiedad y generación de ingresos que democratice cada vez más la propiedad de los negocios de palma y caucho, en beneficio del país.

1.3 OBJETO SOCIAL DE LA EMPRESA

Indupalma Ltda., tiene por objeto la producción de aceite crudo de palma, aceite crudo de palmiste, torta de palmiste, semillas híbridas, plántulas y polen, además promueve, diseña, estructura, administra y comercializa negocios y productos de palma aceite y caucho. Investiga y desarrolla nuevos materiales, productos y tecnologías aplicables al cultivo y beneficio de la palma de aceite y el caucho.

1.4 UBICACIÓN

La sede de San Alberto, Cesar, está ubicada en el kilómetro 10 Vía Panamericana, allí se encuentran la planta extractora y la plantación con 8.609 hectáreas cultivadas en palma africana. La sede administrativa principal está localizada en Bogotá, Calle 67 # 7-94 piso 8, adicionalmente la organización cuenta con una sede satélite en la ciudad de Bucaramanga, Calle 35 No 19 – 41 La Triada Torre Sur Oficina 1004. En la figura 1. Se muestra la ubicación geográfica de la planta beneficio o extractora.

Figura 1. Ubicación Geográfica de la Planta Beneficio



Fuente: Google Earth

1.5 PRODUCTOS Y COMERCIALIZACIÓN

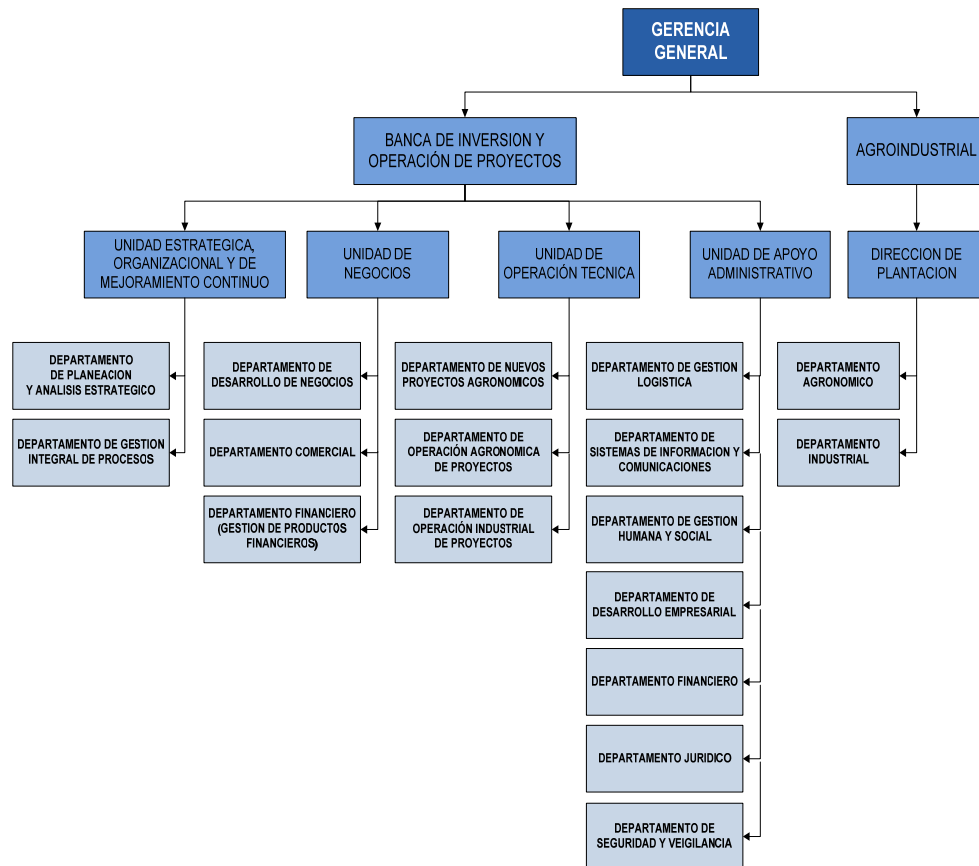
La planta extractora de Indupalma produce aceites de palma y palmiste, destinados de una parte a la producción de aceites comestibles, margarinas o grasas industriales y de otra en la elaboración de detergentes, produce además torta de palmiste, resultante de la extracción física del aceite de palmiste, producto utilizado como complemento en las mezclas de alimentos concentrados para animales.

Indupalma Ltda., forma parte del grupo empresarial Gutt-Haime, dedicado a atender el mercado nacional e internacional en sectores como el de grasas y aceites comestibles, concentrados para animales y producción de detergentes a través de sus Inversiones en Colombia y Ecuador, en nuestro país, entre otras, pertenecen a este grupo empresarial: Indupalma, Grasco, Gracetales, Detergentes, Jabonería central, Raza y Empacor.

1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Por 45 años Indupalma funcionó como una empresa agroindustrial. Desde finales del 2006, Indupalma rediseñó su estructura en dos frentes de negocios, el tradicional Agroindustrial y el de Banca de Inversión y Operación de Negocios. Siguiendo un proceso de mejoramiento ha cambiado su estructura funcional por una estructura híbrida en donde se combina la definición funcional de Departamentos y la Gestión por Procesos, lo que le representa una mejor organización y una clara orientación al logro de los resultados. El organigrama de la empresa se muestra en la figura 2.

Figura 2. Organigrama de la empresa INDUPALMA LTDA



Fuente: Indupalma Ltda.

1.7 ALCANCES Y METAS

En el año 2000 Indupalma fijó una meta a 10 años para desarrollar y establecer proyectos de expansión de cultivos de palma con terceros de 10.000 hectáreas, la meta fue alcanzada en 2009, al lograr administrar 21.854 hectáreas, de las cuales 11.577 son propiedad de terceros; hoy la meta es mega y se espera que para el año 2020 se estén administrando 70.000 hectáreas de cultivos de palma y se construya una nueva planta extractora por cada 10.000 hectáreas.

1.8 DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO

Al reconocer y analizar el estado actual de desempeño de la sección, el diagnóstico brinda herramientas a la dirección para promover el mejoramiento de la gestión de planeación y programación de las actividades de mantenimiento, el estudio abarca el proceso de forma integral, considerando cada aspecto en la asignación de tareas, el proceso de ejecución, así como la retroalimentación y registro de los resultados.

El trabajo plantea introducir mejoras al sistema de gestión de mantenimiento de la planta extractora, al complementar los actuales criterios de planeación y programación con un análisis de criticidad de equipos y la reestructuración del esquema documental técnico del área.

1.8.1 La Organización Administrativa del Área. El análisis del área de mantenimiento debe estar estructurado considerando todos los posibles eventos de interrelación con las demás áreas del Departamento Industrial; sus operaciones y proyecciones; el espacio físico designado al área y cualquier otro factor que defina o refleje la importancia dada a la sección.

En la tabla 1. Se presentan los puntos relevantes de la Organización de Mantenimiento.

Tabla 1. Ventajas y falencias en la Organización del mantenimiento

Organización del Área de Mantenimiento	Definición de políticas de la empresa con el mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Posee un Sistema de Gestión para el mantenimiento de los equipos.
	Nivel de área de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Cuenta con autonomía, pero existen actividades que son realizadas en función de la continuidad de la producción
	Interrelaciones con otras dependencias	<ul style="list-style-type: none"> • Las otras dependencias mantienen comunicación constante en busca de solución a los problemas presentados.
	Claridad en la estructura orgánica	<ul style="list-style-type: none"> • Existe un encargado del departamento, al igual que un supervisor de operaciones y un grupo específico dedicado a las actividades de mantenimiento.
	Criterios de la dirección con respecto al mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Consciente de la importancia e influencia del área de mantenimiento en el desarrollo de la producción, promueve actividades de mejoramiento para incrementar su efectividad.

Fuente: Autor del Proyecto

1.8.2 Documentación Técnica existente. La información técnica básica está compuesta por: catálogos de equipos, instructivos, manuales de mantenimiento, planos y formatos que son utilizados para la alimentar las bases de datos del software Impact XP, herramienta informática aplicada a la gestión del mantenimiento.

En cuanto a los documentos de campo, no existe un documento formal de orden de trabajo, que registre la información necesaria para el desarrollo del trabajo y que pueda entregarse con anticipación al personal de ejecución, en su lugar se imparten órdenes verbales, dejando espacio a posibles ambigüedades de interpretación en el proceso de comunicación, de otra parte el personal de ejecución debe diligenciar un formato de actividades realizadas, sin embargo se considera que debería modificarse para garantizar se consigne la información relevante para las hijas históricas de los equipos. En la figura 3 puede apreciarse el formato de jornada que se tramita diariamente.

Figura 3. Formato diario para reporte de las labores

INDUPALMA		ORDEN DE TRABAJO MANTENIMIENTO		UND-IND-PO-007		
Realizado por: <u>Melba Hoyano</u>		Fecha: <u>febrero 7/2011</u>		Revisión: 05	30-Ene-08	
ITEM	TIEMPO	TRABAJO	EQUIPO	MATERIALES	Vs. Bo. MITO	Vs. Bo. PROD.
#		Diagnostico del Trinquete Indax de conmutación N°2 para verificar por parte de los mecánicos se agotó los res de lubricación y lubrica el motor de la tija. Hay falta al motor para facilitar reparación queda trabajando.				
#		Reparación protección lateral de las esclusas de fibra y verificar operación.				
#		Lavar ranuras a la sección de distribución N°1 y N°2 queda trabajando.				
#		Ajugar al mecánico para poder alistar el taller en cuanto se permita queda trabajando.				
OBSERVACIONES						

Fuente: Indupalma Ltda.

El ejercicio de planeación se ve afectado por factores internos como la dispersión de la información técnica y la garantía de una actualización permanente; factores que influyen en el real aprovechamiento de las herramientas de información, identificar, proponer acciones de mejora y establecer referentes para estos aspectos es el propósito principal trazado para este proyecto.

1.8.3 La Planeación de los Mantenimientos. Las actividades de mantenimiento son reportadas por el software Impact XP para un período de tiempo determinado por el usuario administrador (normalmente un mes), como resultado se obtiene un listado de actividades que incluye recambios programados de piezas, inspecciones, lubricación, limpieza, etc., por la extensión del listado, normalmente se requiere reprogramar actividades desplazándolas en el tiempo, situación que genera riesgos por incidentes imprevistos que se constituyen en actividades correctivas.

La ejecución de las actividades programadas puede afectarse por la ocurrencia de eventos que detengan la producción o afecten seriamente el ritmo normal, estos son atendidos de forma inmediata, adicionalmente a la jornada de mantenimiento del fin de semana son llevadas aquellas actividades que de acuerdo a una evaluación conjunta con producción son susceptibles de ser postergadas para evitar afectaciones a la producción.

El jefe y auxiliar de Mantenimiento, analizan las actividades reportadas por Impact XP, de acuerdo a su criterio y experiencia determinan las prioridades de las tareas a realizar y programan las actividades preventivas que son asignadas al equipo de ejecución del primer turno de operación, en el segundo y tercer turno se coordina con un mecánico y un ayudante para atender los imprevistos que se presente en la producción. En la tabla 2 se muestra un esquema de la programación general del mantenimiento llevada a cabo en las diferentes periodicidades.

Tabla 2. Planeación de Mantenimiento

JORNADA	DIARIA	SEMANAL	MENSUAL	ANUAL
TAREAS	Se realizan las actividades programadas para cada equipo y se atienden las eventualidades.	El domingo detienen la producción, las actividades se basan en limpieza e inspección	Revisión de desgastes y cambios de piezas. Desarrollo de las rutas de lubricación, fonendoscopio y amperajes.	Desarrollo de rutas de predictivo; vibraciones, balanceos, alineaciones, espesores, termografías, puesta a tierra, etc. Programación de los outsourcing, para los equipos más críticos

Fuente: Autor de proyecto.

En la figura 4 se muestra un formato de la programación que se realiza según las tareas reportadas por Impact XP.

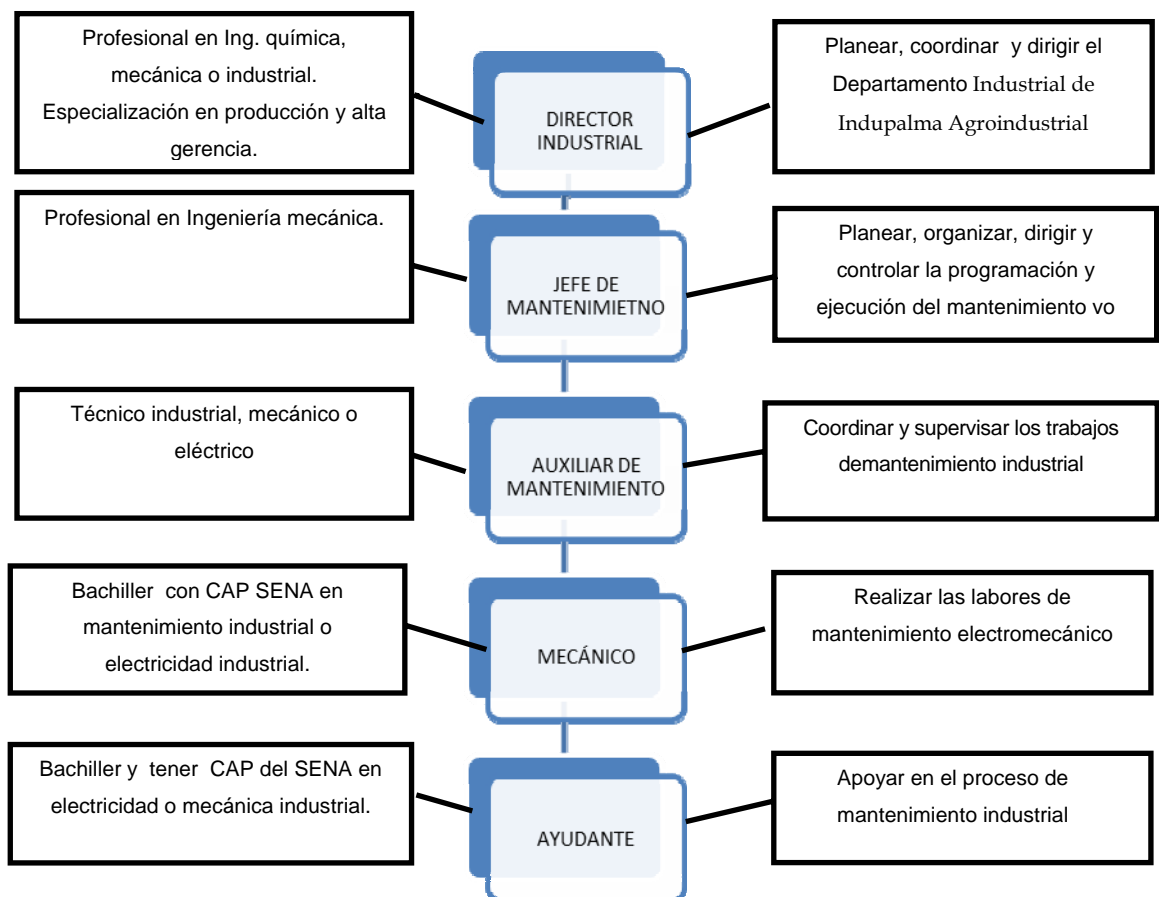
Figura 4. Programación mensual de Mantenimiento

INDUPALMA [®] Negocios en la palma de su mano		PROGRAMACIÓN MENSUAL DE MANTENIMIENTO				UNO-IND-FO-005 30-ene-08
MANTENIMIENTO PROGRAMADO					MANTENIMIENTO EJECUTADO	
CODIGO EQUIPO	EQUIPO	ACTIVIDAD	FECHA PROGRAMADA	CUMPLIMIENTO	FECHA EJECUTADA	Orden T.
6110617	VENTILADOR DISTRIBUIDOR DE COMBUSTIBLE (T1)	CAMBIO ELEMENTO FLEXIBLE ACOPLE	21/03/2011		5/04/2011	9384
6110617	VENTILADOR DISTRIBUIDOR DE COMBUSTIBLE (T1)	CAMBIO RODAMIENTOS SOPORTES	21/03/2011		5/04/2011	8025
6110633	VENTILADOR TIRO FORZADO 1 (T2)	CAMBIO CORREAS DE TRANSMISION	28/03/2011		12/04/2011	10664
6110633	VENTILADOR TIRO FORZADO 1 (T2)	CAMBIO RODAMIENTOS MOTOR	04/04/2011		19/04/2011	9389
6110652	VENTILADOR REFRIG ALIMENT DE FIBRA (C.V)	CAMBIO RODAMIENTOS MOTOR	18/04/2011		3/05/2011	1611
6110655	TRANSPORTADOR DE CENIZAS CON AGUA (C.V)	CAMBIO RODAMIENTOS SOPORTES	18/04/2011		3/05/2011	1616
6110660	ALIMENTADOR DE FIBRA No 2(C.V)	CAMBIO DE RODAMIENTOS SOPORTE.	18/04/2011		3/05/2011	1623
6110661	BOMBA 1 PARRILLA (C.V)	CAMBIO RODAMIENTOS BOMBA	25/04/2011		10/05/2011	1624
6110662	BOMBA 2 PARRILLA (C.V)	CAMBIO ELEMENTO FLEXIBLE ACOPLE	25/04/2011		10/05/2011	3333
6110662	BOMBA 2 PARRILLA (C.V)	CAMBIO RODAMIENTOS BOMBA	25/04/2011	FS	10/05/2011	1626

Fuente: Indupalma Ltda.

1.8.4 Personal del Área de Mantenimiento. El director del departamento Industrial es la persona que planea, coordina y dirige la Planta Extractora por tanto es líder natural de todas las actividades, incluso el mantenimiento, en un segundo nivel se encuentra el Jefe de Mantenimiento, responsable por la planeación, organización y control del área, en el tercer nivel está el Auxiliar de Mantenimiento quien coordina y supervisa los trabajos, finalmente está el equipo de ejecución de labores de mantenimiento electromecánico, conformado por mecánicos, electricistas y ayudantes. El personal del Área está distribuido como lo indica la figura 5.

Figura 5. Perfil, cargo y funciones



Fuente: Indupalma Ltda. y Autor del Proyecto

1.8.5 Costos de mantenimiento. De los registros del software Impact XP, se obtienen los costos directos del mantenimiento por actividades, equipos y secciones dentro de un período de tiempo determinado, incluyen mano de obra, refacciones y servicios externos, esta información permite al área realizar análisis comparativos que permitan tomar decisiones sobre actividades futuras como renovaciones e inversiones, además de observar cuales equipos necesitan una atención más previsiva con el fin de optimizar su operación, reducir costos al igual que mejorar la producción. La gestiones de presupuesto, bienes y servicios se realizar en un Sistema Integrado de Información que tiene cobertura sobre todas la compañía, de otra parte los análisis de información, incluidos los costos del mantenimiento, se realizan en el software Qlick View de Inteligencia de negocios.

1.8.6 Instalaciones y equipos de la sección. En las instalaciones de la planta Extractora se dispone de una oficina para el área de mantenimiento de forma que se dispone de un centro de operación con el hardware, software y dotación de oficina adecuados para el desarrollo de las actividades, de otra parte se dispone de espacios físicos adecuados y asignados al área de mantenimiento, así se dispone de un taller cerrado, cubierto y debidamente identificado, además de un centro de lubricación, sitios en donde se realizan las actividades de banco en su mayoría de mantenimiento preventivo.

El equipo de ejecución cuenta con los equipos y herramientas necesarias para el desarrollo de sus actividades, se anota que no se dispone de herramienta, por tanto cada persona cuenta con su propia dotación de herramientas.

1.8.7 Servicios de terceros. Como recurso adicional está la opción de contratar servicios con terceros para desarrollar actividades de mantenimiento dentro de la planta extractora en los eventos en que se requiera de equipos y/o personal especializado o no se disponga de las suficientes horas hombre al interior del área.

Actualmente se están desarrollando cuatro ejercicios de outsourcing para el mantenimiento de igual número de secciones de proceso, se incluye en estas contrataciones los suministros de mano de obra, repuestos y consumibles.

Como criterios básicos para la implementación de estos ejercicios, la organización ha considerado los siguientes:

- ✓ Garantizar la atención oportuna de los equipos sea en el cumplimiento de los programas de preventivo o las eventualidades que lleguen a sucederse.
- ✓ Garantizar el suministro oportuno de refacciones, consumibles necesarios para el mantenimiento de los equipos.
- ✓ Garantizar el desempeño de los equipos en aspectos como capacidad y pérdidas de proceso.
- ✓ Promover, implementar y documentar actividades de mejoramiento en los equipos en una relación de mutuo beneficio entre empresa y contratista.
- ✓ Disminuir los costos de mantenimiento mediante el establecimiento de tarifas fijas de mantenimiento ligadas a la producción, por ejemplo pesos de mantenimiento por tonelada de fruto prensado.

1.8.8 Conclusión del estudio. El estudio realizado muestra que la organización ha asimilado el mantenimiento como una gestión técnica y administrativa orientada a garantizar la continuidad de los procesos, la confiabilidad de la operación de los equipos y el mejoramiento de los mismos, actividades que se involucran en los resultados generales del Departamento y por tanto se cuenta con el apoyo de la alta dirección para desarrollar la gestión.

El área en particular cuenta con los recursos de software y hardware necesarios, para desarrollar las actividades de planeación y programación, sin embargo, el software aplica como criterio base el tiempo previsto entre eventos para realizar la programación de actividades, en especial el recambio de piezas por tiempos estándar establecidos para su duración, se aprecia que es necesario complementar este recurso con otras herramientas que brinden criterios adicionales para establecer programaciones más ajustadas a las necesidades de la planta, entre estas se cuentan el análisis de criticidad y el diseño de rutas de adquisición de datos.

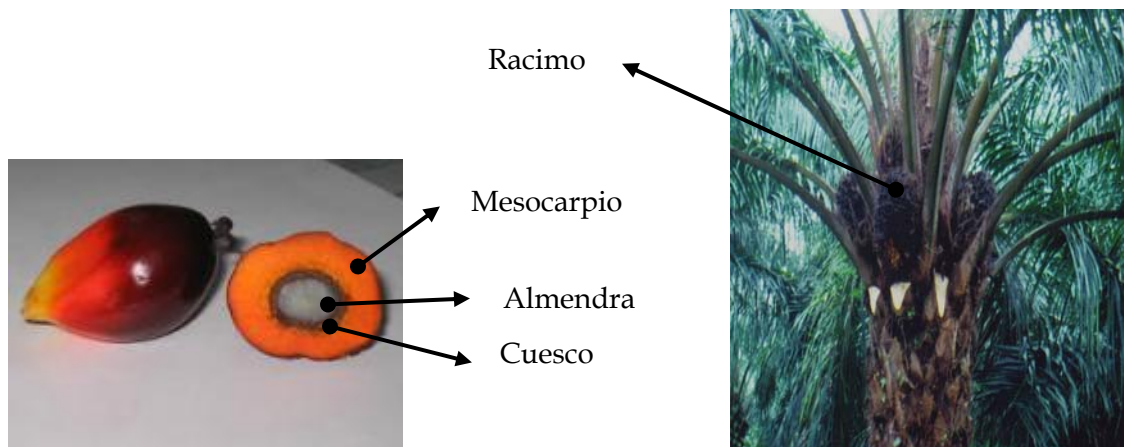
Otro aspecto que favorecerá las actividades de planeación y programación está ligado al manejo de la información técnica, en lo que tiene que ver con su permanente actualización y ajuste a los cambios, por tanto se requiere realizar una detenida revisión, organización y actualización de los volúmenes de información existentes, proponiendo las mejoras que se considere amplíen, precisen o simplifiquen según el caso los documentos de gestión utilizados en la actualidad.

2. PROCESO DE BENEFICIO EN LA PLANTA EXTRACTORA INDUPALMA LTDA

2.1 GENERALIDADES

El aceite de palma es extraído a partir del fruto obtenido de la palmera, *Elaeis Guineensis*, la palma de aceite es un cultivo perene de tardío y largo rendimiento, considerando que la vida productiva puede alcanzar los 50 años, sin embargo, a partir de los 25 se dificulta su cosecha por la altura del tallo. La importancia económica radica en su fruto el cual en su interior guarda una única semilla, la almendra o palmiste, que protege con el cuesco, un endocarpio leñoso rodeado a su vez, por una pulpa carnosa. Ambas, almendra y pulpa, proveen aceite, la primera, el de palmiste y la segunda el de palma propiamente dicho. En la figura 6 se muestra una palma de aceite y el fruto en corte.

Figura 6. Palma de aceite y fruto en corte



Fuente: Indupalma Ltda.

Aceite de palma: Es una grasa en forma líquida o semisólida de acuerdo con la temperatura ambiente, que contiene aproximadamente 50% de ácidos grasos saturados, 40% de ácidos mono insaturados y 10% de ácidos grasos poli insaturados y que al igual que todos los aceites vegetales contienen niveles insignificantes de colesterol.

El aceite obtenido es utilizado como materia prima por las empresas refinadoras, quienes lo utilizan fundamentalmente en la producción de aceites para mesa y cocina, margarinas, Jabones y es de igual utilidad en la industria del cuero, del acero y de textiles.

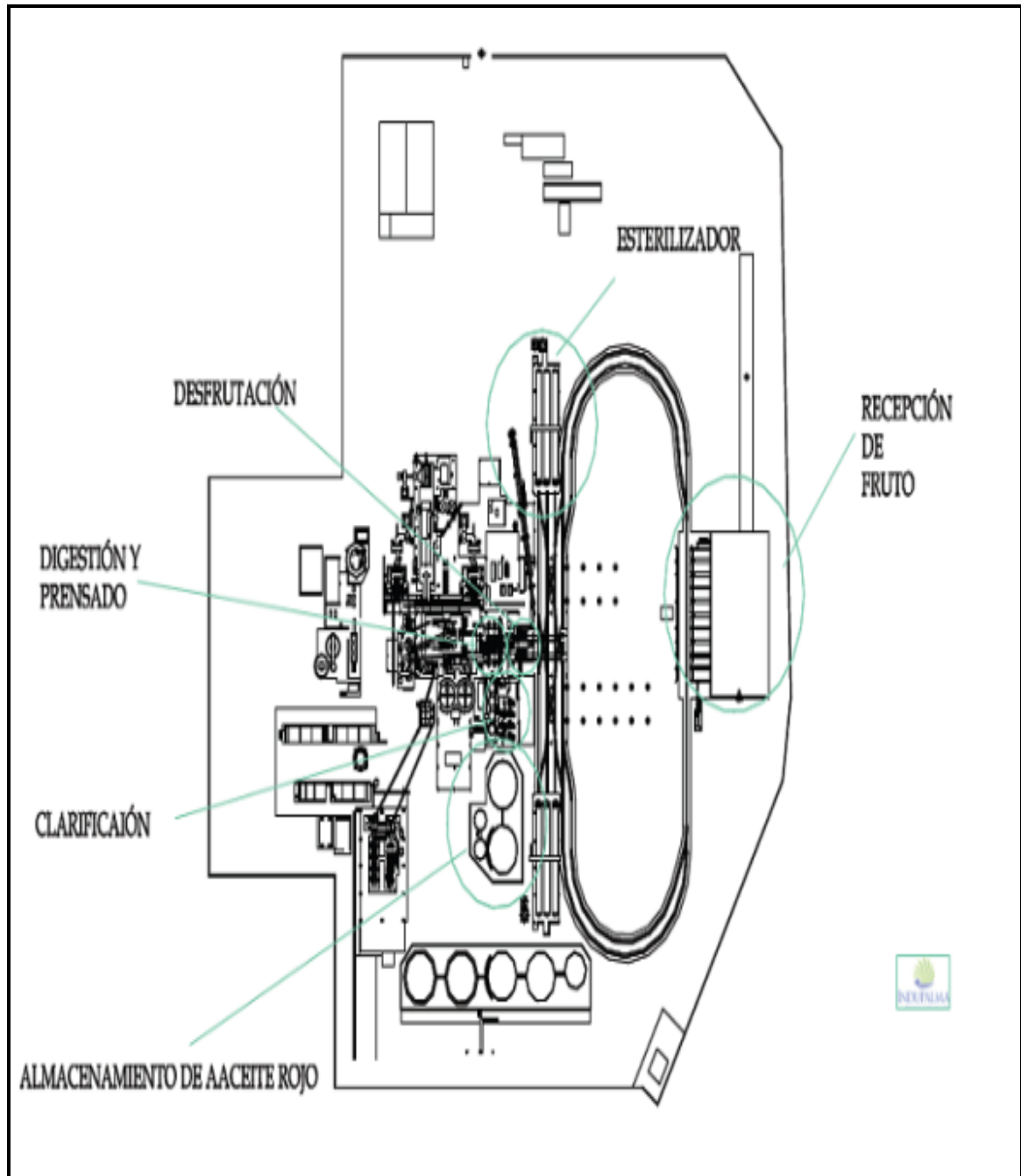
Aceite de palmiste: Es una grasa en forma líquida o semisólida, de acuerdo con la temperatura ambiente, que contiene ácidos grasos saturados, ácidos mono insaturados ácidos grasos poli insaturados, y que es extraída de la almendra de Palmiste.

Torta de palmiste tipo expeller: Torta extraída mecánicamente del proceso de molienda de las almendras, en la extracción o molienda tipo expeller se obtiene dos productos Aceite de Palmiste y Torta de Palmiste. La consistencia inicial de la torta es pastosa por lo que es sometida a un proceso de pulverización a través de un molino de martillos, una vez realizado el proceso es empacada en bultos de 40 kilos.

Torta de palmiste tipo chocolatina: En el proceso de extracción de Aceite de Palmiste este presenta partículas sólidas por lo que es sometido a un proceso de purificación que consta de filtrado y tamizado. Una vez se realiza este proceso los residuos sólidos resultantes son la torta de palmiste tipo chocolatina que se caracteriza por su alto contenido de aceite de palmiste.

La distribución general de la planta puede verse en la figura 7, esta se encuentra por secciones.

Figura 7. Distribución general Planta Beneficio de INDUPALMA LTDA



Fuente: Indupalma Ltda.

La maquinaria empleada en el proceso de producción se clasifica por secciones como se muestra en la tabla 4

Tabla 3. Clasificación de maquinaria por secciones

SECCIÓN	CANTIDAD	MAQUINARIA INCLUIDA
RECEPCIÓN	1	Tolva
	2	Unidad hidráulica
	1	Transportador fruta suelta
	1	Tambor limpiador de pepa
	160	Vagonetas
	120	Chasis
	2	Tractores John Deere
ESTERILIZACIÓN	1	Cargadores Caterpillar
	2	Bomba de condensado
	6	Esterilizador
DESFRUTACIÓN	2	Chimenea batería esterilización
	2	Monorriel Grúa Demag
	2	Tolva de Fruto cocido
	2	Tambor desfrutador
	2	Sinfín bajo desfrutador
	2	Transportador transversal fruto
DIGESTIÓN Y PRENSADO	1	Transportador de Tusa
	2	Elevador de fruto
	1	Transportador de retorno
	7	Digestor
	7	Prensas
	7	Hidráulico Prensa

Tabla 4. (Continuación)

SECCIÓN	CANTIDAD	MAQUINARIA INCLUIDA
CLARIFICACIÓN	3	Tamiz de aceite crudo
	3	Bomba de aceite crudo
	1	Transportador de ariche
	2	Tanque clarificador
	1	Bomba de recirculación a los clarificadores
	3	Bomba de aceite a secadores
	2	Bomba desarenadora
	3	Filtro cepillo
	7	Centrifuga (Separador de lodos)
	2	Bomba de recirculación de lodos
	2	Bomba de aceite recuperado de los separadores
ALMACENAMIENTO ACEITE ROJO	2	Bomba de despacho de aceite de palma
	7	Tanque de almacenamiento

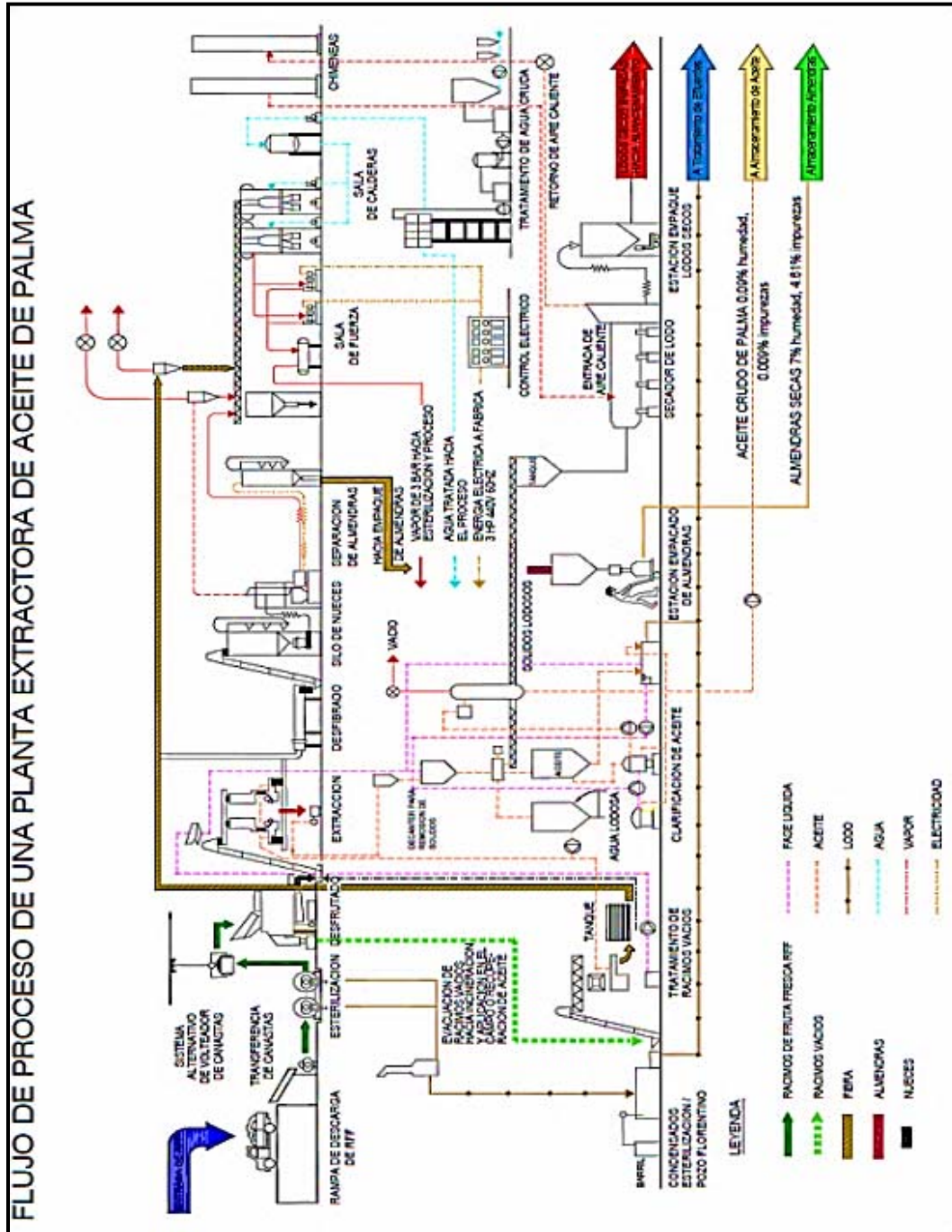
Fuente: Autor del proyecto

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El procesamiento de los frutos de la palma de aceite se lleva a cabo en la planta extractora, en ella se extraen el aceite crudo de palma y las almendras o palmiste.

El proceso consiste en esterilizar los frutos, desgranarlos, macerarlos, extraer el aceite de la pulpa por prensado, clarificarlo y recuperar las almendras de la torta de prensado. En la figura 8 se muestra el diagrama general de todo el proceso.

Figura 8. Diagrama Flujo de proceso de planta extractora de aceite de palma



Fuente: WAMBECK Noel, Sinopsis del proceso de la palma de aceite

2.2.1 Recepción de Fruto. El fruto es suministrado por la plantación y es transportado desde el campo en volquetas, luego se deposita en la tolva de recepción de la planta extractora en donde se realiza un muestreo para conocer su calidad. En la figura 9 se muestra la llegada del fruto a la tolva.

Figura 9. Recepción de Fruto



Fuente: Indupalma Ltda.

La tolva con capacidad de 160 toneladas está constituida por laminas inclinadas con refuerzo de ángulos que descargan el peso sobre párales que actúan como columnas, además, posee un sistema hidráulico a lo largo de 10 compuertas que liberan el fruto para dejarlo caer sobre las vagonetas de transporte que son ubicadas justo debajo de ellas; las vagonetas de 2.5 toneladas de capacidad se desplazan sobre rieles utilizando un tractor, el cual transporta grupos de ocho vagonetas hacia cada esterilizador; los frutos que se desprenden del racimo en el descargue se llevan junto con impurezas como arena y material vegetal mediante un transportador sinfín hacia un tambor limpiador el cual retira las impurezas que están adheridas a la fruta.

En la figura 10 se muestra el sistema de transporte de pepa suelta, proveniente de la tolva.

Figura 10. Sistema de transporte de fruta suelta



Fuente: Indupalma Ltda.

2.2.2 Esterilización. El fruto es cargado a los esterilizadores en donde es sometido a la acción del vapor a una presión que oscila entre 0-40 PSI, durante períodos preestablecidos de tiempo, con el objetivo principal de inactivar el proceso enzimático de acidificación del aceite, adicionalmente aflojar los frutos del racimo y romper la estructura celular del pericarpio. El fruto debe cumplir el ciclo de esterilización, este comprende once pasos básicos, bajo unas condiciones que se pueden resumir en la tabla 5.

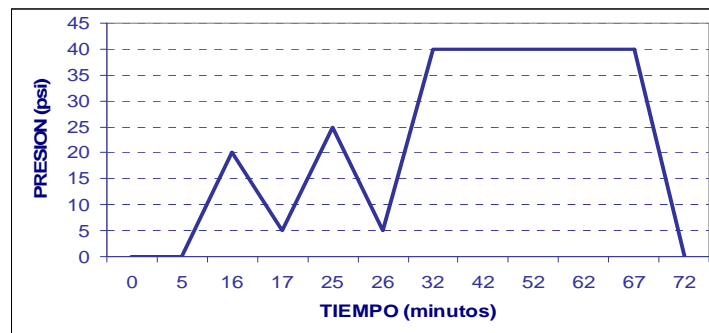
Tabla 5. Ciclo de esterilización

PASO No	DESCRIPCIÓN	TIEMPO Aprox. (min)	PRESIÓN (psi)
1	Desaireación	5	0
2	Primer Pico	5	20
3	Expansión	3	5
4	Segundo Pico	6	30
5	Expansión	4	5
6	Tercer Pico	8	40
7	Sostenimiento	30-50	40
8	Expansión	5	0
9	Apertura	5	0
10/11	Descargue y Cargue	5	0
	TOTAL (Máximo)	75-95	

Fuente: Indupalma Ltda.

El siguiente gráfico de tiempo y presión del ciclo de esterilización resume el cuadro anterior:

Figura 11. Esterilización. Diagrama Presión vs Tiempo



Fuente: Indupalma Ltda.

Para este proceso se cuenta con dos baterías de esterilización, cada una consta de 3 esterilizadores con capacidad para ocho vagonetas de 2.5 toneladas de racimos, el esterilizador es un equipo tubular horizontal de aproximadamente 24 metros de longitud y 2.1 metros de diámetro, recibe y descarga el vapor proveniente de las calderas, por medio de un sistema de válvulas controlado por un PLC, los condensados resultantes del proceso se evacuan utilizando bombas centrífugas. En la figura 12 se muestra una batería de esterilizadores.

Figura 12. Esterilizadores



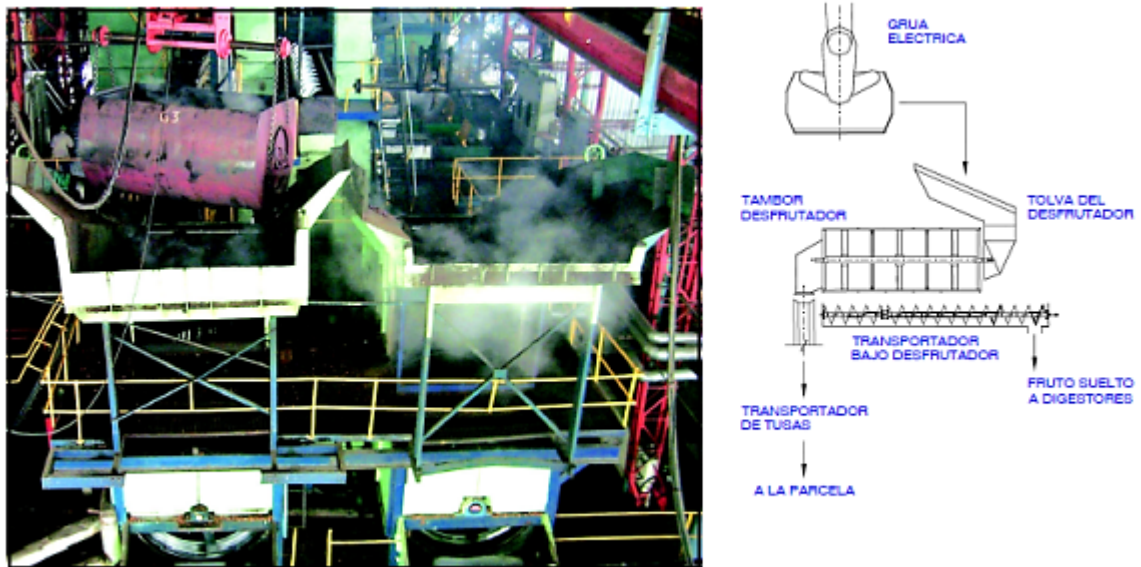
Fuente: Indupalma Ltda.

2.2.3 Desfrutación. Es el segundo proceso al cual son sometidos los racimos de palma, una vez han sido esterilizados. Tiene como objetivo la separación de los racimos esterilizados en frutos sueltos y raquis.

Una vez cocido el fruto es dirigido por rieles y depositado en unas tolvas del alimentador del sistema de desfrutación mediante un monorriel, en esta sección se cuenta con dos líneas de producción, cada una con su respectivo monorriel que toma una a una las vagonetas y vacía el contenido en la tolva del desfrutador. El monorriel realiza tres operaciones: eleva la vagoneta, la traslada sobre la tolva y la

voltea dejando caer los racimos cocidos; para la realización de estos tres movimientos está dotado de tres motores que por su transmisión de cadena ejercen acción, para el izaje gracias a guayas , para la traslación a través de un eje que conduce un carro sobre un riel y para el volteo por un eje que al mismo tiempo que asegura la vagoneta le permite girar; todos estos movimientos se ejecutan por medio de control eléctrico y se delimita su movimiento gracias a sensores que actúan como finales de carrera a lo largo de las tres trayectorias. En la figura 13 se muestra en forma representativa el proceso de desfrutación.

Figura 13. Diagrama de proceso Sección Desfrutación



Fuente: WAMBECK Noel, Sinopsis del proceso de la palma de aceite

Es muy importante la regularidad en la alimentación de los racimos y para ello se disponen de un alimentador dosificador tipo rodillo rotatorio de velocidad variable, llamado variador de tolva, al cual se le carga en la forma más uniforme posible, mediante la grúa monorraíl, cuya operación es coordinada de acuerdo con la capacidad de extracción de la planta.

En la figura 14 se muestra el variador de tolva.

Figura 14. Variador de Tolva



Fuente: Indupalma Ltda.

El proceso de desfrutación se efectúa en un tambor rotatorio, en el cual los racimos van girando dentro del tambor y al llegar a la parte superior caen y se golpean, desprendiendo los frutos.

La entrada del tambor desfrutador está conformada por unas platinas longitudinales donde los racimos liberados por el variador golpean y desprenden el fruto dejando aproximadamente el 70% de su contenido productivo; el raquis cargado con el fruto adicional que no se desprendió en la primera caída entra al tambor propiamente dicho, constituido por unas platinas longitudinales unidas a unos aros transversales en disposición de estrella de tres puntas y conectadas a un eje principal estableciendo una disposición como una jaula de ardilla; el tambor tiene una capacidad para 30 toneladas hora y gira a 23 RPM , provocando el choque continuo de los racimos y dejando caer a través de las platinas los frutos cocidos y de otra dejando salir los raquis vacíos que representan una parte voluminosa del racimo; estos raquis son revisadas a la salida del tambor desfrutador para verificar estén bien desfrutados, en caso de presentar frutos son

retornados al proceso de esterilización. En la figura 15 se observa un tambor desfrutador.

Figura 15. Tambor Desfrutador



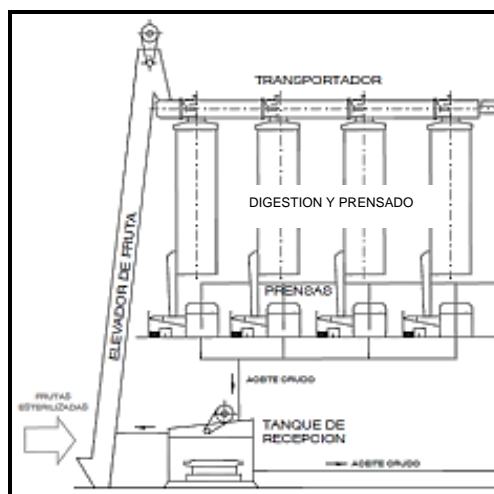
Fuente: WAMBECK Noel, Sinopsis del proceso de la palma de aceite

El raquis que no se reprocessa es transportada a través de una banda de transporte que la eleva y la deja caer sobre las volquetas para ser regadas posteriormente como abono sobre la plantación de palma; este sistema de transporte de tusa está conformado por tres transportadores de banda cada uno con sus tambores principales y rodillos de guía que permiten el deslizamiento de la banda y cada tramo conectado a un motorreductor de 3 h.p. , el material de la banda es lona para no verse afectada por la características abrasiva del material de la tusa.

Los frutos separados son transportados por un sinfín, ubicado en la parte baja del desfrutador y descargados en un elevador de fruto, para que pasen a la siguiente etapa del proceso.

2.2.4 Digestión y Prensado. Los elevadores de fruto son de cangilones y alimentan las dos líneas de producción, en cada una se descarga el fruto a un tornillo sin fin ubicado en la parte superior de los digestores para distribuirlo en cada uno de los digestores; cuando no se alcanza a descargar todo el contenido en los digestores de cada línea de producción este se envía a otro tornillo sin fin que lo reincorpora a al elevador de cangilones. A continuación se muestra un esquema del proceso de digestión y prensado.

Figura 16. Diagrama de proceso Sección Digestión y Prensado



Fuente: WAMBECK Noel, Sinopsis del proceso de la palma de aceite.

En el digestor, el fruto se calienta con vapor y se macera para convertirlo en una masa que facilite el prensado, en este proceso se obtiene la primera extracción de aceite crudo, llamado aceite virgen que se recupera antes de entrar a la prensa. Los digestores son recipientes cilíndricos con un eje rotatorio con varios juegos de paletas, posee una transmisión de potencia proveniente de un motorreductor de 30 h.p. El proceso de digestión se complementa con la inyección directa de vapor saturado y agua caliente al digestor, los frutos dentro del digestor deben alcanzar una temperatura de 90 a 95 °C a fin de disminuir la viscosidad del líquido aceitoso y facilitar su evacuación durante el prensado.

El tamaño del digestor debe corresponder con la capacidad de la prensa (toneladas por hora de prensado) para garantizar una columna de alimentación adecuada, en la planta hay instalados siete equipos digestores.

En la figura 17 se muestra un digestor con capacidad de 3500 litros y la masa de fruto dentro del digestor.

Figura 17. Digestor



Fuente: Indupalma Ltda.

Realiza la digestión del fruto, se continúa con el prensado para extraer la fracción líquida de la masa de frutos que sale del digestor; compuesta por aceite de palma, agua y una cierta cantidad de sólidos suspendidos en el agua. La masa desaceitada que resulta del proceso (torta de prensado) está compuesta por fibras y nueces que serán llevadas al proceso de desfibración.

En el proceso de prensado, continúa el formato de dos líneas de producción, con un total de siete prensas continuas de tornillo, con capacidades de 20, 15 y 9 toneladas por hora. Las máquinas están compuestas por una canasta perforada horizontal de forma cilíndrica doble y por dos tornillos del tipo de sinfín. Las prensas de doble tornillo tienen un motorreductor de 40 h.p., la transmisión

principal se hace con una caja que contiene un par de engranajes rectos que transmiten la potencia a los dos tornillos, que dispuestos sobre la canasta ejercen tres acciones de prensado; la primera ejerce mayor presión y por ende hay mejor aprovechamiento de la extracción entre las hélices encontradas de los tornillos, la segunda contra las paredes de la canasta por donde finalmente es extraído el aceite a través de los orificios que posee todo el cuerpo de la canasta y por último el contacto entre las puntas de los tornillos y un cono conectado a un sistema hidráulico que atrapa todo el producto que cruza por las hélices; es en esta última zona se obtiene la torta de prensado. En la figura 18 se observa una prensa con capacidad para 20 toneladas.

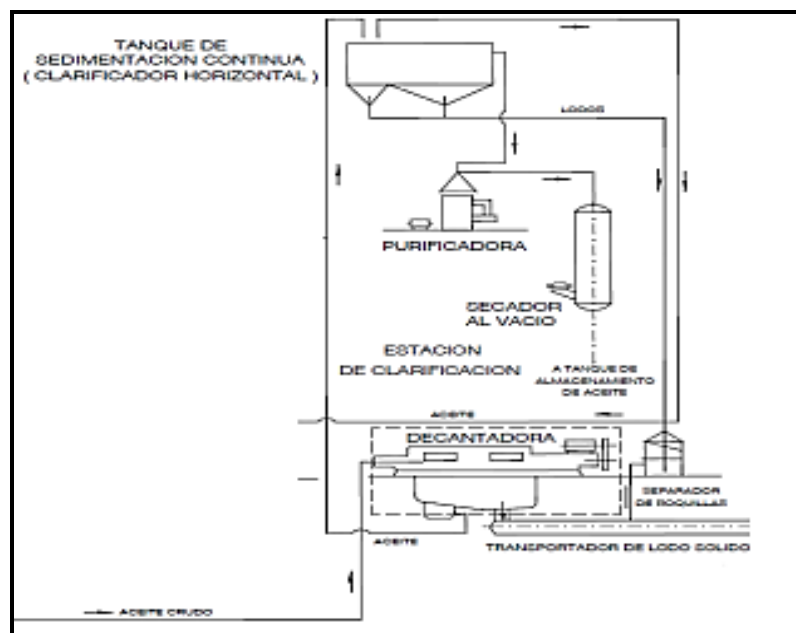
Figura 18. Prensa P20



Fuente: Indupalma Ltda.

2.2.5 Clarificación. En esta parte del proceso se inicia una segunda fase de aprovechamiento; el aceite crudo y la torta de prensado resultantes del prensado son separados en corrientes diferentes; la torta será la materia prima de la palmisteria y el aceite cumple un ciclo de clarificación para llegar a su disposición final en los tanques de almacenamiento. En la figura 19 Se muestra el esquema general de la sección de la clarificación.

Figura 19. Esquema Sección Clarificación



Fuente: WAMBECK Noel, Sinopsis del proceso de la palma de aceite

El fluido proveniente de las prensas se denomina licor de prensa, está compuesto por agua, aceite, lodos livianos y lodos pesados, es enviado a un tamiz del tipo circular, que tiene como objetivo separar las partículas sólidas de tamaño superior a los de las mallas, para disminuir la cantidad de sólidos en el líquido a clarificar.

En la figura 20 se puede observar un tamiz circular, ubicado en una línea de producción dentro de la sección de clarificación.

Figura 20. Tamiz circular



Fuente: Indupalma Ltda.

La clarificación es el proceso mediante el cual se separa el aceite de la mezcla líquida extraída en las prensas, para lograr dicha separación, se aprovecha la característica de inmiscibilidad entre el agua y el aceite. Este proceso se divide en dos partes:

- Clarificación estática (por Decantación): se logra separar el 90% del aceite aproximadamente.
- Clarificación dinámica (por Centrifugación): se requiere movimiento por fuerza centrífuga para obtener la separación, recuperación del 10% de aceite.

El licor de prensa se alimenta en el centro de las mallas del tamiz, las partículas de mayor tamaño se mueven hacia la periferia en donde son descargadas hacia el proceso de digestión, a través de un transportador de ariche (mezcla de aceite y torta) para aprovechar su contenido de aceite. Las partículas de menor tamaño y el líquido pasan rápidamente a través de la malla y son recolectados por la parte inferior para ser conducidos hacia el tanque de aceite crudo. El tamiz opera sobre el material mediante tres tipos de movimiento: un movimiento horizontal desde el centro hacia la periferia, que es regulado incrementando o reduciendo el peso de un juego de contrapesas superiores, un movimiento en sentido vertical que es

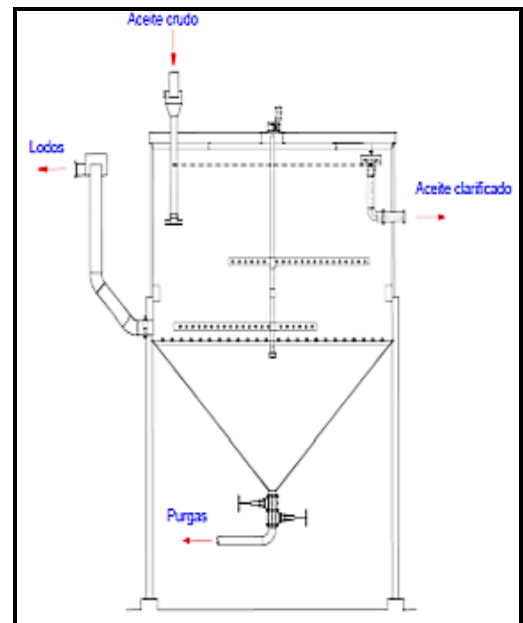
regulado incrementando o reduciendo el peso de un juego de contrapesas inferiores, un movimiento de desplazamiento lateral, que es regulado por incremento o reducción del ángulo de desfase que exista entre la posición de las contrapesas superiores y la posición de las contrapesas inferiores.

El aceite tamizado es bombeado hacia el clarificador, este tiene un ciclón de alimentación que cumple con la función de disipar la presión a la cual se transporta el líquido, evitando la turbulencia en el interior del tanque. El clarificador posee un sistema de agitación que aplica las “fuerzas cortante” por medio de un eje central y paletas rotatorias con orificios los cuales ‘cortan’ los lodos liberando el aceite atrapado, como resultado del proceso de decantación se pueden distinguir cuatro capas: el aceite, los lodos livianos, el agua y los lodos pesados. En la figura 21 se muestra un clarificador y su Vista interior.

Figura 21. (a) Clarificador 1 (b) Vista interior del Clarificador

(a)

(b)



Fuente: Indupalma Ltda. y WAMBECK Noel, Sinopsis del proceso de la palma de aceite

El aceite clarificado, capa superior, pasa a los tanques de sedimentación para decantar impurezas, luego el aceite se bombea a los secadores al vacío, los cuales operan entre 70 y 80 °C, en ellos se evapora la humedad del aceite mediante un vacío de alrededor de 27,5 pulgadas de columna de mercurio (el agua se evapora a unos 55 °C a ese nivel de vacío). El aceite entra a la columna de secado a través de unas boquillas del tipo *Lechler* que pulverizan el líquido para incrementar el efecto de la temperatura y el vacío. Al secador de vacío se le coloca en la entrada una válvula de tipo cheque para evitar pérdidas de vacío en el sistema. De los secadores los aceites es bombeado directamente a los tanques de almacenamiento.

En la figura 22 podemos ver las columnas de secado

Figura 22. Columnas de Secado



Fuente: Indupalma Ltda.

Continuando el proceso, los lodos del clarificador pasan al tanque lodos para garantizar una temperatura de 80°C, de allí se bombean a los ciclones

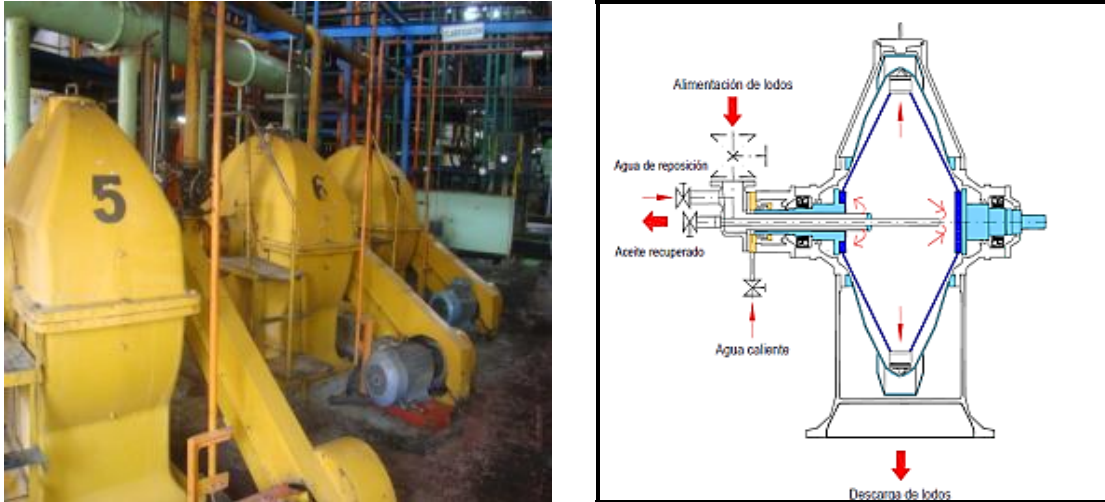
‘desarenadores’, en donde se separa la mayor parte de los sólidos pesados, estos equipos están compuestos de un cono de cerámica que actúa como ciclón y un tanque de acero inoxidable que cumple las funciones de una trampa de arena, los equipos tienen un ciclo automatizado de funcionamiento y permiten el adecuado funcionamiento de las centrífugas.

Las aguas lodosas desarenadas van a un tanque pulmón de alimentación a las centrífugas ‘separadores de lodos’, de allí, pasan a los filtros de cepillo para eliminar las partículas sólidas de tamaño grande pero que a la vez son livianas y que no fueron separadas por la acción de los ciclones desarenadores y finalmente son alimentadas a las centrífugas.

En este punto la clarificación se hace dinámica por efecto de la centrifugación; son aprovechados los principios de la clarificación estática, pero la separación ocurre con una velocidad mucho mayor, mediante fuerzas centrifugas; el agua y los lodos pesados salen por las boquillas o toberas del rotor y el aceite junto con los lodos livianos se concentra en el centro y son descargados por un tubo recolector llamado ‘recuperador’. Dentro de la centrífuga hay una parte rotatoria denominada bowl que gira sobre dos ejes soportados por rodamientos: uno macizo y otro hueco, a través de este último pasa el tubo de alimentación de lodos aceitosos. En la figura 23 se puede observar la centrífuga y su proceso de centrifugación.

El aceite extraído en las centrifugas es conducido al tamiz para mezclarlo con el aceite salido de prensas de forma que se incorpore al licor de prensas que inicia el proceso de clarificación.

Figura 23. (a) Centrifugas (b) Esquema proceso de centrifugado



Fuente: Indupalma Ltda. y WAMBECK Noel, Sinopsis del proceso de la palma de aceite.

Los lodos que se obtienen como resultado de la separación realizada en las centrifugas, posee una pequeña cantidad de aceite que puede ser recuperado, considerando esto es necesaria una segunda fase de recuperación en la cual se quiere disminuir pérdidas de aceite en el proceso, provenientes de los lodos dejados en la centrifuga y el condensado de vapor que se obtiene en los esterilizadores.

Este proceso de recuperación se realiza en los pozos florentinos, lugar a donde es conducido el lodo sacado de la centrifuga y el condensado de vapor de los esterilizadores, los pozos florentinos son trampas de separación de aceite y aguas lodosas, allí se recupera el residual de aceite de los lodos por pre enfriamiento y decantación de los sólidos pesados antes de ir al sistema de tratamiento de efluentes. El aceite recuperado es reingresado al proceso por medio de una bomba y llevado a los tamices.

En la figura 24 se muestran los pozos florentinos.

La gran cantidad de agua lodosa obtenida del proceso, no se dispone directamente al medio ambiente, es enviada a un sistema de tratamiento de efluentes conformado por lagunas de oxidación, sistema ubicado junto a la planta extractora.

Figura 24. Pozos Florentinos



Fuente: Indupalma Ltda.

2.2.6 Almacenamiento de Aceite Crudo. Para el almacenamiento del aceite se han dispuesto siete tanques, que cumplen la función de darle residencia al aceite y mantener la temperatura entre 50-60 °C, para evitar la formación de microorganismos; los tanques cuentan con serpentines que son alimentados con vapor y permiten mantener la temperatura necesaria; cada tanque posee una bomba que permite recircular el aceite para garantizar un producto homogéneo al momento de realizar despachos.

En la figura 24 se muestra los tanques de almacenamiento de aceite rojo.

Figura 25. Sección Almacenamiento de aceite rojo



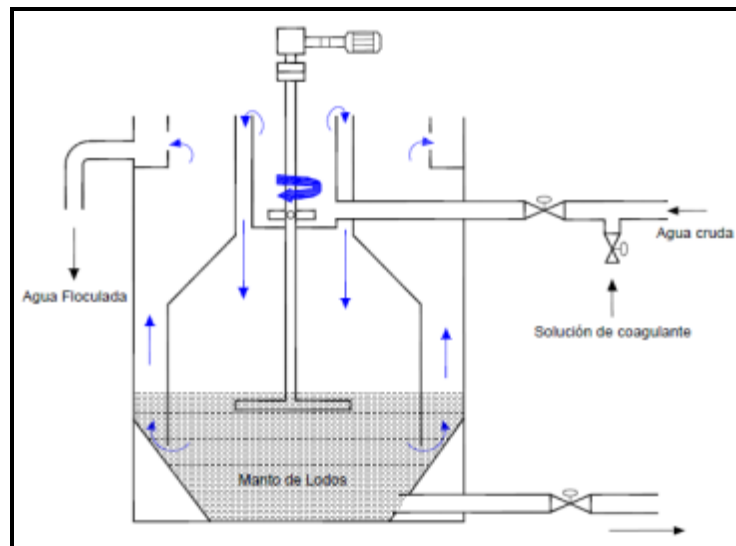
Fuente: Indupalma Ltda.

2.2.7 Sistemas Auxiliares. Esta sección incluye los equipos que abastecen al proceso productivo de energía; comprende los servicios de:

- ✓ Tratamiento de agua
- ✓ Producción de vapor.
- ✓ Generación de energía eléctrica.

2.2.7.1 Tratamiento de agua. El agua cruda es captada en la bocatoma del río San Alberto, ubicada a un kilómetro de la planta, es enviada por un sistema de bombeo a un tanque desarenador donde es sometida a un pre tratamiento físico, Luego continua a los floculadores, tanques en los que se le inyecta al agua una solución floculante, que sirve para que se decanten partículas para eliminarlas mediante las purgas del tanque. En la figura 26 se muestra el esquema de un floculador.

Figura 26. Esquema Floculador



Fuente: WAMBECK Noel, Sinopsis del proceso de la palma de aceite

El agua clarificada se hace pasar a través de filtros de arena que trabajan a presión, se disponen de dos de estos filtro para una operación en paralelo y un tercero en stand by para facilitar los trabajos de limpieza, estos filtros son del tipo rápido de lecho filtrante de presión recomendados cuando la cantidad de materia que debe retenerse es grande y el tamaño de las partículas contenidas es relativamente pequeño.

En la figura 27, se muestra los filtros para tratamiento de agua.

Figura 27. Filtros para tratamiento de agua



Fuente: Indupalma Ltda.

El agua filtrada es enviada a un proceso de suavización utilizado únicamente para el agua destinada a la producción de vapor, su objetivo es eliminar la 'dureza' del agua; constituida por iones principalmente de calcio y magnesio, que se encuentran disueltos en el agua, en forma de sales como sulfatos, carbonato , etc. Estos iones ocasiona la formación de incrustaciones en las calderas.

Figura 28. Equipos de suavización.



Fuente: Indupalma Ltda.

2.2.7.2 Producción de vapor. El proceso de la extracción del aceite de palma necesita una cantidad importante de vapor saturado, especialmente para la esterilización y el calentamiento en las demás etapas de ese proceso, el vapor requerido para estos procesos es vapor de baja presión (entre 3 y 4 bar), Sin embargo, para la producción de la fuerza motriz (en forma de energía eléctrica) las turbinas requieren vapor sobre calentado a mayor presión (20 a 22 bar), La producción de este vapor es asegurada por la combustión de las fibras y cáscaras de desecho que representan aproximadamente entre un 19 y 20% del peso de los racimos frescos y son transportadas hasta el hogar de la caldera por medio de tornillos sin fin.

La planta cuenta con tres calderas, dos son acuotubular, consisten básicamente de un domo (tambor) de vapor y agua y de un conjunto de dos bancos de tubos de evaporación, cada uno con doble colector, conectados al domo mediante tubos de circulación, los cuales actúan como alimentadores o de retorno, hacia o desde unos colectores posteriores y frontales.

La tercer caldera posee una disposición combinada (pirotubular y acuotubular), posee un sistema de control automatizado y es operada desde un cuarto donde se controlan las variables de funcionamiento.

El proceso de generación de vapor, cuenta además con tanques compensadores que calientan el agua suavizada por medio de inyección de vapor a una temperatura $>60^{\circ}\text{C}$ y $<80^{\circ}\text{C}$ para suministrarle a las calderas y aprovechar su máxima eficiencia en la producción de vapor, entre otras razones ayuda a evitar deterioro prematuro de tuberías y golpes de ariete por cambios bruscos de temperatura a la entrada.

El tratamiento de agua de caldera es riguroso y se realiza con un sistema de inyección con bombas dosificadoras de diferentes productos (polímeros, secuestrante de oxígeno, acondicionadores, etc.) de acuerdo con los parámetros del laboratorio de calidad de la planta.

En la figura 29 se observa la disposición de las calderas y el sistema de alimentación de agua a las calderas.

Figura 29. (a) Caldera Towler, (b) Caldera Vyncke, (c) Bombas Alimentación agua a las calderas.

(a)



(b)



(c)



Fuente: Indupalma Ltda.

El vapor de proceso es enviado a las diferentes secciones desde un tanque distribuidor que adicionalmente cumple la función de satúralo una vez a pasado por la turbina.

Figura 30. Distribuidor de vapor



Fuente: Indupalma Ltda.

2.2.7.3 Generación eléctrica. La generación eléctrica es un sistema auxiliar que permanece disponible sobre cualquier eventualidad de una falla del suministro energético normal. El flujo eléctrico llega hasta la planta beneficio gracias a un contrato entre un tercero y la empresa, considerando los costos y el aprovechamiento de los recursos, la planta dispone de un sistema autónomo de generación eléctrica.

El vapor que se produce en las calderas es utilizado primero para la autogeneración de electricidad mediante la turbina de vapor de alta presión marca SHINKO de 1200 KW de capacidad.

Además se dispone de dos plantas eléctricas CATERPILLAR que suministran la energía cuando exista falla en el suministro de la electrificadora o por ausencia de presión de vapor suficiente para el adecuado funcionamiento de la turbina; éstos generadores diesel poseen una potencia de 1200 KW y 320 KW. La figura 31 muestra una planta Caterpillar y la turbina Shinko.

Figura 31. Planta Caterpillar y Turbina Shinko.



Fuente: Indupalma Ltda.

El suministro de las fuentes de energía a la planta está controlado por un bloqueo manual que impide se encuentren sobre el mismo barraje dos de estos suministros, es decir interna (planta Caterpillar o turbina Shinko) y la externa (red pública). En la figura 32 se muestra la sala de máquinas.

Figura 32. Sala de maquinas.



Fuente: Indupalma Ltda.

3. INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO DE LOS EQUIPOS DE PROCESO EN LA PLANTA BENEFICIO

Con el fin de analizar el estado actual de la maquinaria, se realiza un inventario y diagnóstico de los equipos sometidos a mantenimiento; basado en un enfoque gerencial que permita determinar las acciones, rutas y jornadas que garanticen sostener la producción a partir de una maquinaria confiable y disponible en la mayor parte del tiempo de proceso, para ello se debe recopilar, clasificar, ordenar y catalogar la documentación técnica existente.

La metodología para la calificación de los diferentes equipos se fundamenta en la inspección visual y auditiva del comportamiento de los equipos, las condiciones ambientales del sitio y la frecuencia de trabajo; las fuentes de información corresponden al personal del área de mantenimiento y los operarios de cada uno de los equipos; los criterios de calificación se muestra en la figura 33.

Figura 33. Criterios de Calificación de equipos

ESTADO	CALIFICACION	
Bueno	2	Mantenimiento adecuado
Aceptable	1	Aumentar revisión y mantenimiento
Malo:	0	Falta Mantenimiento

Fuente: Autor del Proyecto.

De acuerdo a la distribución de la planta y la secuencia del proceso, el diagnóstico y la calificación de los equipos se realizó por secciones, actualizando el inventario de equipos y observando la importancia en el proceso.

3.1 SECCIÓN RECEPCIÓN DE FRUTO

El análisis desarrollado en esta sección se adelantó a partir de los equipos que se encargan de tomar el fruto y dosificarlos para la entrada al proceso; los cuales se observan en la tabla 6

Tabla 6. Calificación Sección Recepción de Fruto

RECEPCIÓN DE FRUTO		
EQUIPO	NOTA	DIAGNÓSTICO
Tolva	2	Bueno
Unidad hidráulica 1	2	Bueno
Unidad hidráulica 2	2	Bueno
Transportador de fruta suelta (sinfín)	1	Aceptable
Transportador de pepa	1	Aceptable
Tambor limpiador de pepa	1	Aceptable
Chasis	2	Bueno
Vagonetas	2	Bueno
Tractores John Deere (4 unid)	2	Bueno
Cargadores Caterpillar (2 unid)	2	Bueno
Zorros de desechos	0	Malo

Fuente: Autor del proyecto

3.2 SECCIÓN DE ESTERILIZACIÓN

El proceso de esterilización consta de equipos que se encargan de la cocción del fruto, a través de la llegada de vapor; por lo tanto cuenta con sistema de evacuación de condensado.

El diagnóstico de la sección de esterilización se muestra en la tabla 6

Tabla 7. Sección Esterilización

ESTERILIZACIÓN		
EQUIPO	NOTA	DIAGNÓSTICO
Bomba de condensados 1	1	Aceptable
Bomba de condensados 2	1	Aceptable
Esterilizador 1	2	Bueno
Esterilizador 2	2	Bueno
Esterilizador 3	2	Bueno
Esterilizador 4	2	Bueno
Esterilizador 5	2	Bueno
Esterilizador 6	2	Bueno
Chimenea batería esterilización 1	2	Bueno
Chimenea batería esterilización 2	2	Bueno

Fuente: Autor del proyecto

3.3 SECCIÓN DESFRUTACIÓN

Este proceso se adelanta desde las grúas Demag 1 y 2 hasta los transportadores de raquis. En esta sección se trabaja en dos líneas de proceso que poseen equipos que pueden provocar una parada total de la planta si no se aplica un adecuado mantenimiento.

A continuación se muestra en la tabla 7, los equipos que conforman esta sección:

Tabla 8. Sección Desfrutación

DESFRUTACIÓN		
EQUIPO	NOTA	DIAGNÓSTICO
Monorriel grúa Demag 1	2	Bueno
Monorriel Demag 1 motor elevación	2	Bueno
Monorriel Demag 1 motor traslación	2	Bueno
Monorriel Demag 1 motor volteo	2	Bueno
Monorriel grúa Demag 2	2	Bueno
Monorriel Demag 2 motor levante	2	Bueno
Monorriel Demag 2 motor traslación	2	Bueno
Monorriel Demag 2 motor volteo	2	Bueno
Tolva de fruto cocido 1	2	Bueno
Tolva de fruto cocido 2	2	Bueno
Variador tolva 1	1	Aceptable
Variador tolva 2	1	Aceptable
Tambor desfrutador 1	2	Bueno
Tambor desfrutador 2	2	Bueno
Sinfín bajo desfrutador 1	1	Aceptable
Sinfín bajo desfrutador 2	1	Aceptable
Transportador transversal fruto 1	1	Aceptable
Transportador transversal fruto 2	1	Aceptable
Transportador de tusa 1	1	Aceptable
Transportador de tusa 2	1	Aceptable
Transportador de tusa 3	1	Aceptable

Fuente: Autor del proyecto

3.4 SECCIÓN DIGESTIÓN Y PRENSADO

El proceso de Digestión y Prensado se adelanta a partir de los elevadores de fruto 1 y 2 hasta las prensas; cinco Prensas P9, una P15 y una P20. En esta sección se tiene en cuenta que las prensas poseen diferentes capacidades al igual que los correspondientes digestores y una falla provoca una pérdida importante en el proceso. Los equipos que conforman la sección de digestión y prensado son presentados en la tabla 8.

Tabla 9. Sección Digestión y Prensado

DIGESTIÓN Y PRENSADO		
EQUIPO	NOTA	DIAGNÓSTICO
Elevador de fruto 1	1	Aceptable
Elevador de fruto 2	1	Aceptable
Transportador distribuidor de fruto 1	1	Aceptable
Transportador distribuidor de fruto 2	1	Aceptable
Transportador de retorno	1	Aceptable
Digestor 1	2	Bueno
Digestor 2	1	Aceptable
Digestor 3	1	Aceptable
Digestor 4	2	Aceptable
Digestor 5	2	Bueno
Digestor 6	2	Bueno
Digestor 7	2	Bueno
Prensa 1	2	Bueno
Prensa 2	2	Bueno
Prensa 3	2	Bueno
Prensa 4	2	Bueno
Prensa 5	2	Bueno
Prensa 6	2	Bueno
Prensa 7	2	Bueno
Hidráulico prensa 1	1	Aceptable
Hidráulico prensa 2	1	Aceptable
Hidráulico prensa 3	1	Aceptable
Hidráulico prensa 4	1	Aceptable
Hidráulico prensa 5	1	Malo
Hidráulico prensa 6	1	Aceptable
Hidráulico prensa 7	1	Aceptable

Fuente: Autor del proyecto.

3.5 SECCIÓN CLARIFICACIÓN

En esta sección se tuvo la precaución de revisar equipos minuciosamente debido a que se encuentran en contacto directo con aceite crudo, lodo y agua a elevadas temperaturas; los equipos abarcan desde el tamiz circular hasta las bombas de tanque desaceitados.

A continuación se presenta el diagnóstico realizado para los equipos pertenecientes a la sección de Clarificación

Tabla 10. Sección Clarificación

CLARIFICACIÓN		
	NOTA	DIAGNÓSTICO
Tamiz de aceite crudo 1	1	Aceptable
Tamiz de aceite crudo 2	1	Aceptable
Transportador de ariche tipo basuca	1	Aceptable
Bombas de aceite crudo 1	2	Bueno
Bombas de aceite crudo 2	2	Bueno
Bombas de aceite crudo 3	2	Bueno
Bombas de aceite crudo 4	2	Bueno
Tanque clarificador 1	2	Bueno
Tanque clarificador 2	2	Bueno
Bomba de recirculación a los clarificadores	2	Bueno
Bomba 1 de aceite a secadores	2	Bueno
Bomba 2 de aceite a secadores	2	Bueno
Bomba 3 de aceite a secadores	2	Bueno
Bomba desarenadora 1 (lodos)	2	Bueno
Bomba desarenadora 2 (lodos)	2	Bueno
Filtro cepillo 1	2	Bueno
Filtro cepillo 2	2	Bueno
Filtro cepillo 3	1	Aceptable
Separador de lodos 1	2	Bueno
Separador de lodos 2	2	Bueno
Separador de lodos 3	2	Bueno
Separador de lodos 4	2	Bueno
Separador de lodos 5	2	Bueno
Separador de lodos 6	2	Bueno
Separador de lodos 7	2	Bueno
Bomba de recirculación de lodos 1	2	Bueno
Bomba de recirculación de lodos 2	1	Aceptable
Bomba 1 de aceite recuperado de los separadores	2	Bueno
Bomba 2 de aceite recuperado de los separadores	2	Bueno
Bomba 1 de aceite terminado	2	Bueno
Bomba 2 de aceite terminado	2	Bueno
Tanque sedimentador	2	Bueno

Fuente: Autor del proyecto

3.6 SECCIÓN ALMACENAMIENTO DE ACEITE CRUDO

En esta sección se disponen de tanques de almacenamiento y equipos que permiten despachar el aceite a los clientes; los equipos que conforman esta sección y su diagnóstico se muestran en la tabla 10.

Tabla 11. Almacenamiento de Aceite Rojo

ALMACENAMIENTO DE ACEITE CRUDO		
	NOTA	DIAGNÓSTICO
Bomba 1 de despacho de aceite de palma	2	Bueno
Bomba 2 de despacho de aceite de palma	2	Bueno
Bomba 3 de despacho de aceite de palma	2	Bueno
Tanque de almacenamiento 1	2	Bueno
Tanque de almacenamiento 2	2	Bueno
Tanque de almacenamiento 3	2	Bueno
Tanque de almacenamiento 4	2	Bueno
Tanque de almacenamiento 5	2	Bueno
Tanque de almacenamiento 6	2	Bueno
Tanque de almacenamiento 7	2	Bueno

Fuente: Autor del proyecto

3.7 SISTEMAS AUXILIARES

En esta parte se consideran los equipos primordiales para el inicio y puesta en marcha de la planta extractora, cubre las necesidades de agua, vapor y energía eléctrica.

En la planta de beneficio se encuentran ubicados los equipos en tres divisiones: Tratamiento de agua, Producción de vapor y Generación de energía eléctrica.

En la tabla 11 se muestran los equipos que pertenecen a sistemas auxiliares.

Tabla 12. Sistemas Auxiliares

SISTEMAS AUXILIARES		
	NOTA	DIAGNÓSTICO
Tanque floculador 1	1	Aceptable
Tanque floculador 2	1	Aceptable
Bomba de filtro 1	2	Bueno
Bomba de filtro 2	2	Bueno
Bomba de filtro 3	2	Bueno
Filtro 1	2	Bueno
Filtro 2	2	Bueno
Filtro 3	2	Bueno
Bomba tanque elevado	1	Aceptable
Tanque elevado	2	Bueno
Motor agitador polímero	1	Aceptable
Bomba dosificadora de polímero	1	Aceptable
Bomba inyectora de secuestrante de oxígeno	1	Aceptable
Bomba inyectora de acondicionador de agua	1	Aceptable
Suavizadores	2	Bueno
Caldera Towler 1	1	Aceptable
Caldera Towler 2	1	Aceptable
Caldera Vyncke	2	Bueno
Bombas de alimentación de agua a caldera	1	Aceptable
Turbina Shinko	2	Bueno
Planta Caterpillar	2	Bueno
Tanque distribuidor de vapor	2	Bueno

Fuente: Autor del proyecto.

4. MEJORA EN EL PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE BENEFICIO INDUPALMA LTDA.

En concordancia con los objetivos trazados por el proyecto, se hace necesaria la identificación de equipos a los cuales se les debe hacer la gestión más importante de mantenimiento, obtener un criterio adicional que junto a la información suministrada por el Impact XP, haga sostenible la idea de mejoramiento en la producción a partir del Área de Mantenimiento y sus acciones. En el presente capítulo se muestra un análisis de criticidad por equipos, enfocando cada uno de estos equipos a la tendencia de mantenimiento que le corresponda, además se entregan 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.

4.1 ESTUDIO GENERAL DE CRITICIDAD POR EQUIPOS

La presentación del estudio de criticidad arroja resultados relevantes frente a la necesidad de obtener nuevos criterios, que junto con los arrojados por el software Impact XP permitan mejorar los planes de mantenimiento para cada equipo con el fin de obtener una confiabilidad superior, aumentando las expectativas de eficiencia en la producción.

El estudio se desarrolló por secciones y los valores de puntuación están basados en la influencia directa de los equipos en la producción, los límites de costo para repuestos o reparaciones, así como la confiabilidad de cada máquina basado en la hoja de vida; a continuación se muestra la presentación general de variables adoptadas en la tabla 12.

Tabla 13. Variables aplicadas en el estudio de criticidad

<p>Frecuencia de Falla (FF)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pobre mayor a 4 fallas por años: 4 ➤ Promedio 2-4 fallas por año: 3 ➤ Buena 1-2 fallas por año: 2 ➤ Excelente menos de 1 falla por año: 1 	<p>Costo de mantenimiento (CM)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Mayor o igual a 1000 US\$: 2 ➤ Inferior a 1000 US\$: 1
<p>Impacto Operacional (IO)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Parada de toda la planta: 10 ➤ Parada del sistema o sección y tiene Repercusión en otros sistemas: 7 ➤ Impacta niveles de inventario: o calidad 4 ➤ No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción 1 	<p>Impacto seguridad ambiente e higiene (ISAH)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Afecta la seguridad humana: 8 tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la Organización. ➤ Afecta el ambiente e Instalaciones: 7 ➤ Afecta las instalaciones: 5 Causando daños severos. ➤ Provoca daños menores 3 ➤ No provoca ningún daño a: 1 personas instalaciones o Ambiente.
<p>Flexibilidad Operacional (FO)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ No existe opción de producción: 4 Ni repuesto disponible para compra. ➤ Hay opción de fabricación del: 2 Repuesto. ➤ Repuesto disponible en el almacén: 1 	

Entonces el producto final que desea hallarse es la criticidad que proviene de la operación:

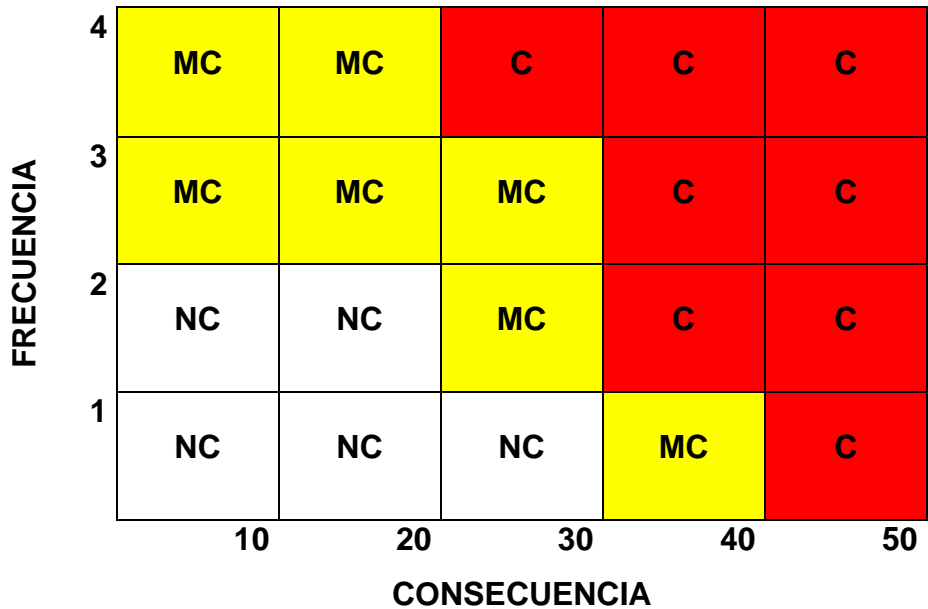
$$\text{Criticidad total (CT)} = \text{FF} \times \text{Consecuencias (CC)}$$

Dónde:

$$\text{Consecuencias} = (\text{IO} \times \text{FF}) + \text{CM} + \text{ISAH}$$

Dentro de las secciones se analizó cada uno de los equipos asignando una calificación correspondiente a cada factor, y el valor final de criticidad al igual que las columnas de frecuencia y consecuencia para desarrollar la matriz de criticidad la cual ayuda a determinar la tendencia de mantenimiento aplicable a cada equipo. En la Figura 34 puede verse un modelo de la matriz de criticidad.

Figura 34. Matriz de criticidad.



Dónde:

NC: Mantenimiento no crítico

MC: Mantenimiento medianamente crítico

C: Mantenimiento crítico

Y las zonas señaladas por colores designan la aplicación de operaciones con determinadas tendencias:

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Predictivo

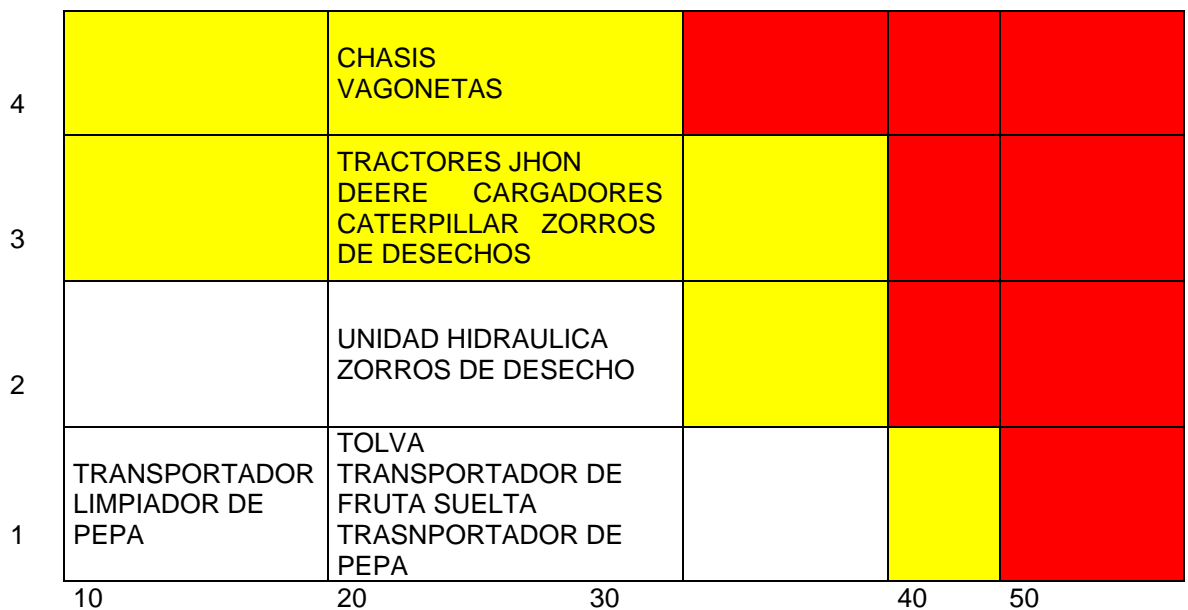
A continuación se hará el respectivo estudio de criticidad para los equipos de las diferentes secciones, donde puede verse los valores de criticidad evaluados en la tabla y su matriz de criticidad en la figura realizada para cada sección:

4.1.1 Sección Recepción de Fruto.

Tabla 14. Valores de Criticidad -- Recepción de Fruto

RECEPCIÓN DE FRUTO								
EQUIPO	EF	IO	FO	CM	ISAH	CT	CC	EVALUACIÓN EQUIPO
Tolva	1	7	2	2	1	17	17	No Critico
Unidad hidráulica 1	2	7	1	1	3	22	11	No Critico
Unidad hidráulica 2	2	7	1	1	3	22	11	No Critico
Transportador de fruta suelta	1	7	2	1	1	16	16	No Critico
Transportador de pepa	1	7	2	1	1	16	16	No Critico
Tambor limpiador de pepa	1	4	2	1	1	10	10	No Critico
Chasis	4	4	2	1	3	48	12	Medianamente Critico
Vagonetas	4	7	1	1	3	44	11	Medianamente Critico
Tractores John Deere (4 unidades)	3	7	2	2	3	57	19	Medianamente Critico
Cargadores Caterpillar	3	7	2	2	3	57	19	Medianamente Critico

Figura 35. Matriz criticidad--Recepción de Fruto

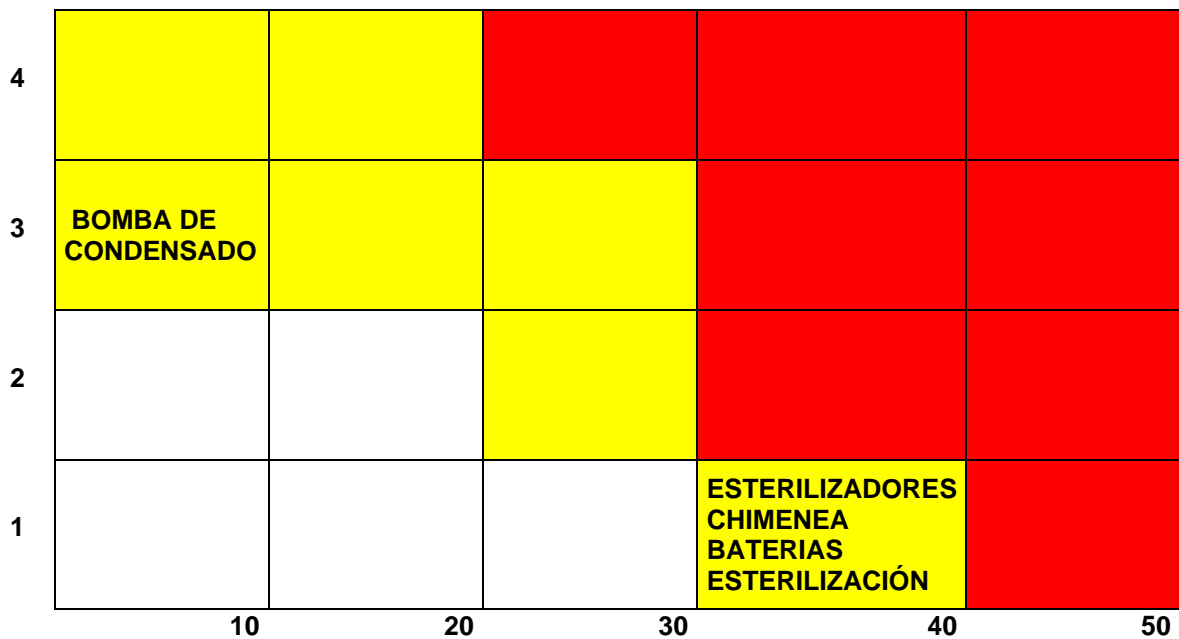


4.1.2 Sección esterilización.

Tabla 15. Valores de Criticidad--Esterilización

ESTERILIZACIÓN								
EQUIPO	FF	IO	FO	CM	ISAH	CT	CC	EVALUACIÓN EQUIPO
Bomba de condensados 1	3	4	1	1	3	24	8	Medianamente Critico
Bomba de condensados 2	3	4	1	1	3	24	8	Medianamente Critico
Esterilizador 1	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente Critico
Esterilizador 2	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente Critico
Esterilizador 3	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente Critico
Esterilizador 4	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente Critico
Esterilizador 5	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente Critico
Esterilizador 6	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente Critico
Chimenea batería esterilización 1	1	2	4	2	7	17	17	Medianamente Critico
Chimenea batería esterilización 2	1	7	4	2	7	37	37	Medianamente Critico

Figura 36. Matriz de criticidad--Esterilización

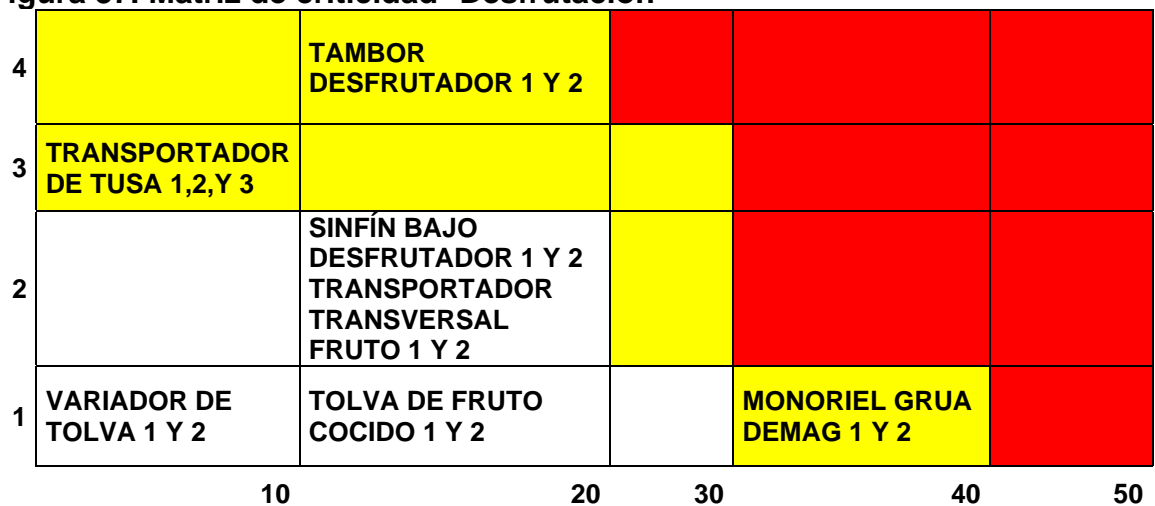


4.1.3 Sección Desfrutación.

Tabla 16. Valores de Criticidad--Desfrutación

DESFRUTACIÓN								
EQUIPO	FF	IO	FO	CM	ISAH	CT	CC	EVALUACIÓN EQUIPOS
MonorrielgrúaDemag 1	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente critico
Mon. Demag 1 motor elevación	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente critico
Mon.Demag 1 motor traslación	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente critico
Mon.Demag 1 motor volteo	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente critico
Monorriel grúa Demag 2	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente critico
Mon. Demag 2 motor levante	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente critico
Mon.Demag 2 motor traslación	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente critico
Mon.Demag 2 motor volteo	1	7	4	2	8	38	38	Medianamente critico
Tolva de fruto cocido 1	1	7	2	1	1	16	16	No critico
Tolva de fruto cocido 2	1	7	2	1	1	16	16	No critico
Variador tolva 1	1	7	1	1	1	9	9	No critico
Variador tolva 2	1	7	1	1	1	9	9	No critico
Tambor desfrutador 1	4	7	2	2	1	68	17	Medianamente critico
Tambor desfrutador 2	4	7	2	2	1	68	17	Medianamente critico
Sinfín bajo desfrutador 1	2	7	2	1	3	36	18	No critico
Sinfín bajo desfrutador 2	2	7	2	1	3	36	18	No critico
Transportador transversal fruto 1	2	7	2	1	3	36	18	No critico
Transportador transversal fruto 2	2	7	2	1	3	36	18	No critico
Transportador de tusa 1	3	10	1	1	3	42	14	Medianamente critico
Transportador de tusa 2	3	10	1	1	3	42	14	Medianamente critico
Transportador de tusa 3	3	10	1	1	3	42	14	Medianamente critico

Figura 37. Matriz de criticidad--Desfrutación

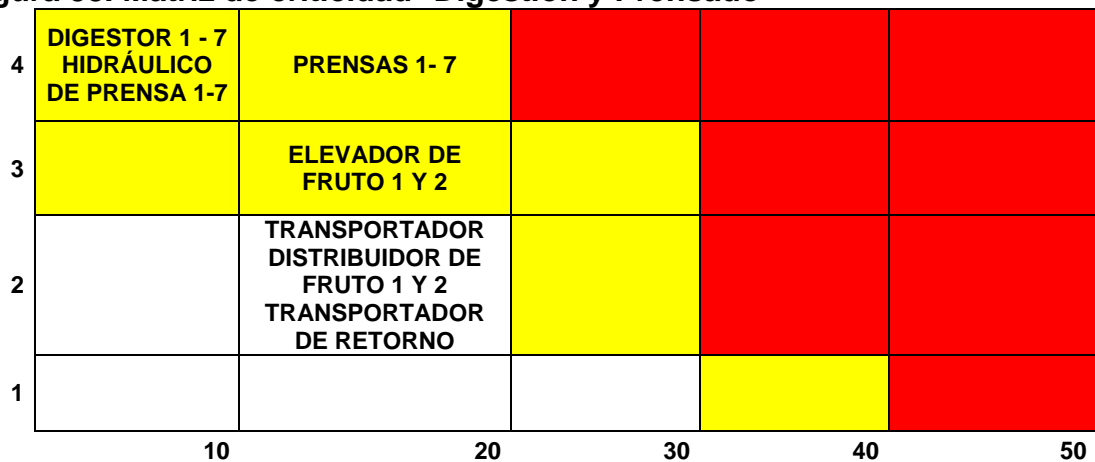


4.1.4 Sección Digestión y Prensado.

Tabla 17. Valores de Criticidad--Digestión y Prensado

DIGESTIÓN Y PRENSADO								
EQUIPO	FF	IO	FO	CM	ISAH	CT	CC	EVALUACION EQUIPO
Elevador de fruto 1	3	7	2	1	3	54	18	Medianamente Critico
Elevador de fruto 2	3	7	2	1	3	54	18	Medianamente Critico
Transportador distribuidor de fruto 1	2	7	2	1	3	36	18	No Critico
Transportador distribuidor de fruto 2	2	7	2	1	3	36	18	No Critico
Transportador de retorno	2	4	1	1	3	16	8	No Critico
Digestor 1	4	4	1	2	3	36	9	Medianamente Critico
Digestor 2	4	4	1	2	3	36	9	Medianamente Critico
Digestor 3	4	4	1	2	3	36	9	Medianamente Critico
Digestor 4	4	4	1	2	3	36	9	Medianamente Critico
Digestor 5	4	4	1	2	3	36	9	Medianamente Critico
Digestor 6	4	4	1	2	3	36	9	Medianamente Critico
Digestor 7	4	4	1	2	3	36	9	Medianamente Critico
Prensa 1	4	4	2	2	1	44	11	Medianamente Critico
Prensa 2	4	4	2	2	1	44	11	Medianamente Critico
Prensa 3	4	4	2	2	1	44	11	Medianamente Critico
Prensa 4	4	4	2	2	1	44	11	Medianamente Critico
Prensa 5	4	4	2	2	1	44	11	Medianamente Critico
Prensa 6	4	4	2	2	1	44	11	Medianamente Critico
Prensa 7	4	4	2	2	1	44	11	Medianamente Critico
Hidráulico prensa 1	4	4	1	2	1	28	7	Medianamente Critico
Hidráulico prensa 2	4	4	1	2	1	28	7	Medianamente Critico
Hidráulico prensa 3	4	4	1	2	1	28	7	Medianamente Critico
Hidráulico prensa 4	4	4	1	2	1	28	7	Medianamente Critico
Hidráulico prensa 5	4	4	1	2	1	28	7	Medianamente Critico
Hidráulico prensa 6	4	4	1	2	1	28	7	Medianamente Critico
Hidráulico prensa 7	4	4	1	2	1	28	7	Medianamente Critico

Figura 38. Matriz de criticidad--Digestión y Prensado



4.1.5 Sección Clarificación.

Tabla 18. Valores de criticidad--Clarificación

CLARIFICACIÓN								
EQUIPO	FF	IO	FO	CM	ISAH	CT	CC	EVALUACION EQUIPOS
Tamiz de aceite crudo 1	3	7	1	1	7	15	15	Medianamente Critico
Tamiz de aceite crudo 2	3	7	1	1	7	15	15	Medianamente Critico
Transportador de ariche tipo basuca	3	1	1	1	7	27	9	Medianamente Critico
Bombas de aceite crudo 1	2	4	1	2	3	18	9	No Critico
Bombas de aceite crudo 2	2	4	1	2	3	18	9	No Critico
Bombas de aceite crudo 3	2	4	1	2	3	18	9	No Critico
Tanque clarificador 1	1	4	2	2	3	13	13	No Critico
Tanque clarificador 2	1	4	2	2	3	13	13	No Critico
Bomba recirculación a clarificadores	1	4	1	2	3	9	9	No Critico
Bomba 1 de aceite a secadores	3	4	1	2	3	27	9	Medianamente Critico
Bomba 2 de aceite a secadores	3	4	1	2	3	27	9	Medianamente Critico
Bomba 3 de aceite a secadores	3	4	1	2	3	27	9	Medianamente Critico
Bomba de recirculación de agua	2	7	1	2	3	24	12	No Critico
Bomba desarenadora 1 (lodos)	3	4	1	2	5	33	11	Medianamente Critico
Bomba desarenadora 2 (lodos)	3	4	1	2	5	33	11	Medianamente Critico
Filtro cepillo 1	3	10	2	2	5	44	27	Medianamente Critico
Filtro cepillo 2	3	10	2	2	5	44	27	Medianamente Critico
Filtro cepillo 3	3	10	2	2	5	44	27	Medianamente Critico
Separador de lodos 1	4	4	2	2	5	60	15	Medianamente Critico
Separador de lodos 2	4	4	2	2	5	60	15	Medianamente Critico
Separador de lodos 3	4	4	2	2	5	60	15	Medianamente Critico
Separador de lodos 4	4	4	2	2	5	60	15	Medianamente Critico
Separador de lodos 5	4	4	2	2	5	60	15	Medianamente Critico
Separador de lodos 6	4	4	2	2	5	60	15	Medianamente Critico
Separador de lodos 7	4	4	2	2	5	60	15	Medianamente Critico
Bomba de recirculación de lodos 1	3	7	2	2	5	63	21	Medianamente Critico
Bomba de recirculación de lodos 2	3	7	2	2	5	63	21	Medianamente Critico
Bomba 1 de aceite recuperado de los separadores	2	4	1	1	3	16	8	No Critico
Bomba 2 de aceite recuperado de los separadores	2	4	1	1	3	16	8	No Critico
Bomba 1 de aceite terminado	2	4	1	1	3	16	8	No Critico
Bomba 2 de aceite terminado	2	4	1	1	3	16	8	No Critico

Figura 39. Matriz de criticidad--Clarificación

4	SEPARADOR DE LODOS 1-7			
3	TRANSPORTADOR DE ARICHE BOMBA DE ACEITE A SECADORES 1-3	BOMBA DESARENADORA TAMIZ DE ACEITE CRUDO 1 Y 2	BOMBA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS 1-2 FILTRO CEPILLO 1-3	
2	BOMBAS DE ACEITE CRUDO 1-4 BOMBA DE ACEITE RECUPERADO DE LOS SEPARADORES 1-2 BOMBA DE ACEITE TERMINADO 1-3	BOMBA DE RECIRCULACION DE AGUA		
1	BOMBA DE RECIRCULACIÓN A LOS CLARIFICADORES	TANQUE CLARIFICADOR 1 Y 2		
	10	20	30	40
				50

4.1.6 Sección de Almacenamiento de Aceite crudo.

Tabla 19. Valores de criticidad--Almacenamiento de Aceite rojo

ESTERILIZACIÓN								
EQUIPO	FF	IO	FO	CM	ISAH	CT	CC	EVALUACIÓN EQUIPO
Bomba 1 despacho aceite de palma	1	4	1	1	3	8	8	No Critico
Bomba 2 despacho aceite de palma	1	4	1	1	3	8	8	No Critico
Bomba 3 despacho aceite de palma	1	4	1	1	3	8	8	No Critico
Tanque de almacenamiento 1	1	7	4	2	7	37	37	Medianamente Critico
Tanque de almacenamiento 2	1	7	4	2	7	37	37	Medianamente Critico
Tanque de almacenamiento 3	1	7	4	2	7	37	37	Medianamente Critico
Tanque de almacenamiento 4	1	7	4	2	7	37	37	Medianamente Critico
Tanque de almacenamiento 5	1	7	4	2	7	37	37	Medianamente Critico
Tanque de almacenamiento 6	1	7	4	2	7	37	37	Medianamente Critico
Tanque de almacenamiento 7	1	7	4	2	7	37	37	Medianamente Critico

Figura 40. Matriz de criticidad--Almacenamiento de Aceite rojo

4					
3					
2					
1	BOMBA DE DESPACHO DE ACEITE DE PALMA 1--3			TANQUE DE ALMACENAMIENTO 1-7	
	10	20	30	40	50

4.1.7 Sistemas Auxiliares

Tabla 20. Valores de Criticidad -- Sistemas Auxiliares

SISTEMAS AUXILIARES								
	FF	IO	FO	CM	ISAH	CT	CC	EVALUACION EQUIPOS
Tanque floculador 1-2	2	10	1	1	1	24	12	No Critico
Bomba a filtro 1-3	2	4	1	1	1	12	6	No Critico
Filtros 1-3	3	4	1	1	1	6	6	No Critico
Bomba dosificadora de polímero	2	7	1	1	1	18	9	No Critico
Bomba inyectora de acondicionador de agua	1	7	1	1	1	18	9	No Critico
Suavizadores	2	7	1	1	1	9	9	No Critico
Tanque elevado	1	7	1	1	1	9	9	No Critico
Caldera Towler 1	4	7	4	2	7	144	37	Critico
Caldera Towler 2	4	7	4	2	7	144	37	Critico
Caldera Vyncke	4	7	4	2	7	144	37	Critico
Bomba alimentación de agua a Caldera	3	4	1	1	1	24	6	Medianamente Critico
Turbina Shinko	2	7	4	1	5	68	34	Critico
Planta Caterpillar	2	7	4	1	5	68	34	Critico
Tanque distribuidor de vapor	1	7	1	1	3	11	11	No Critico

Figura 41. Matriz de criticidad-- Sistemas Auxiliares

4			CALDERA TOWLER 1-2 CALDERA VINCKE	
3	BOMBA DE ALIMENTACION DE AGUA A LA CALDERA			
2	FILTROS 1-3 BOMBA DOSIFICADORA SUAVIZADORES	TANQUE FLOCULADOR	PLANTA CATERPILLAR TURBINA SHINKO	
1	BOMBA INYECTORA DE ACONDICIONADOR TANQUE ELEVADO	TANQUE DISTRIBUIDOR DE VAPOR		
	10	20	30	40 50

4.2 EQUIPOS EN MANTENIMIENTO CORRECTIVO

4.2.1 Mantenimiento Correctivo. 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.

Este tipo de mantenimiento es el más común y conocido por los encargados, jefes e ingenieros de mantenimiento. Por lo general obliga a un riguroso conocimiento del equipo y las partes susceptibles a falla y a un diagnóstico acertado y rápido de las causas. El simple mantenimiento correctivo tiene algunas justificaciones:

- 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 obsoleto o en desuso.
- Equipo tiene gemelo.
- Es fácilmente costeable un nuevo equipo.

El mantenimiento correctivo se clasifica en:

- **Mantenimiento correctivo de emergencia.** Consiste en reparar las fallas presentadas imprevistamente. Es aplicado lo más rápidamente posible con el objetivo de evitar costos, daños materiales y humanos mayores. Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos donde difícilmente se puede predecir las fallas y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la productividad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad.

Existen inconvenientes con esta clase de mantenimiento, por ejemplo, las fallas se presentan en cualquier momento; las fallas no son detectadas a tiempo; se debe contar con un stock alto de piezas y repuestos inmovilizados, por último, con referencia a lo personal, debe ser altamente calificado y sobredimensionado en cantidad pues las fallas deben ser corregidas inmediatamente.

- **Mantenimiento correctivo programado.** Se sabe con anticipación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente. Al igual que el anterior, corrige la falla y actúa ante un hecho cierto. 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 las tareas de producción. En general, se programa la detención del equipo, pero antes de hacerlo, se van acumulando tareas a realizar sobre el mismo y se programa su ejecución en dicha oportunidad, aprovechando para ejecutar toda tarea que no podría hacerse con el equipo en funcionamiento.

Sin embargo, el mantenimiento correctivo no es solamente esperar que un equipo tenga una falla para proceder a repararlo, tiene una connotación mucho más importante en el proceso operativo del sistema de mantenimiento, inclusive, el

mantenimiento, cualquiera sea el tipo de gestión siempre termina en el mantenimiento correctivo.

4.2.2 Aplicación de mantenimiento correctivo en la planta. Este tipo de mantenimiento es aplicado en la mayoría de los casos, para lo cual se cuenta con el equipo y elementos necesarios para desarrollar este tipo de tareas. Algunos aspectos que se presentan en su aplicación son los siguientes:

- Paradas no programadas que bajan la producción
- Los equipos pueden sufrir daños irreparables
- Falta organización en la gestión del mantenimiento
- Requiere más personal para las actividades de mantenimiento.
- Casi siempre está la producción por encima del mantenimiento.
- Se presentan malestar en el personal.

Actualmente en la planta extractora se trabaja para disminuir los porcentajes de aplicación de mantenimiento correctivo, realizando una proyección y un cambio en el sistema de mantenimiento, con el fin de obtener mejoras en la confiabilidad y desempeño de los equipos.

4.2.3 Equipos en mantenimiento correctivo. Los equipos comprendidos en este tipo de mantenimiento, de acuerdo al estudio de criticidad se presentan en la tabla 20.

Tabla 21. Equipos en Mantenimiento Correctivo

EQUIPO	SECCION
Tolva	Recepción de fruto
Transportador de fruta suelta (sinfín)	Recepción de fruto
Transportador de pepa	Recepción de fruto
Tambor limpiador de pepa	Recepción de fruto
Tolva de fruto cocido 1	Desfrutación
Tolva de fruto cocido 2	Desfrutación
Variador tolva 1	Desfrutación
Variador tolva 2	Desfrutación
Sinfín bajo desfrutador 1	Desfrutación
Sinfín bajo desfrutador 2	Desfrutación
Transportador transversal fruto 1	Desfrutación
Transportador transversal fruto 2	Desfrutación
Transportador distribuidor de fruto 1	Digestión y prensado
Transportador distribuidor de fruto 2	Digestión y prensado
Transportador de retorno	Digestión y prensado
Tamiz de aceite crudo 1	Clarificación
Tamiz de aceite crudo 2	Clarificación
Bombas de aceite crudo 1	Clarificación
Bombas de aceite crudo 2	Clarificación
Bombas de aceite crudo 3	Clarificación
Bombas de aceite crudo 4	Clarificación
Tanque clarificador 1	Clarificación
Tanque clarificador 2	Clarificación
Bomba de recirculación a los clarificadores	Clarificación
Bomba 1 de aceite recuperado De los separadores	Clarificación
Bomba 2 de aceite recuperado De los separadores	Clarificación
Bomba 1 de aceite terminado	Clarificación
Bomba 2 de aceite terminado	Clarificación
Bomba 3 de aceite terminado	Clarificación
Bomba tanque desaceitador 1-2	Clarificación
Bomba de despacho de aceite de palma 1-3	Almac. de aceite rojo
Tanque de almacenamiento 1-7	Almac. de aceite rojo

Fuente: Autor del proyecto

4.2.4 Partes susceptibles a falla. Los equipos que se encuentran para la realización de mantenimiento correctivo, poseen piezas que presentan alta probabilidad de falla debido a varios factores como el nivel de carga al que se somete al equipo respecto de su capacidad nominal; las condiciones de montaje; la operación y/o un ambiente nocivo para el equipo. Estas partes se muestran en la tabla 2.

Tabla 22. Elementos susceptibles a falla en equipos de mantenimiento correctivo

ELEMENTO	EQUIPO	SECCION
Láminas de desgaste	TOLVA	RECEPCION DE FRUTO
Mangueras		
Empaquetaduras		
Cilindros hidráulicos		
Racores		
Bujes, compuertas		
Bujes intermedios	TRANSPORTADOR REDLER (SINFÍN)	
Rodamientos motor y reductor		
Chumacera		
Cadena de transmisión		
Tornillo sin fin	TRANSPORTADOR DE PEPA	
Chumacera		
Lamina de desgaste		
Rodamiento motor		
Rodamiento reductor		
Empaquetaduras	TAMBOR LIMPIADOR DE PEPA	
Cadena reductor		
Rodamiento motor		
Rodamiento reductor		
Platinas de desgaste		
Chumacera		
Lamina de cuerpo y desgaste		

Tabla 21. (Continuación)

Laminas desgaste	TOLVA DE FRUTO COCIDO 1-2	DESFRUTACIÓN
Estirilla		
Compuertas		
Rodamiento motor	VARIADOR DE TOLVA 1-2	
Rodamiento reductor		
Cadena		
Chumacera		
Piñón de ataque		
Rodamiento motor	SINFÍN BAJO DESFRUTADOR 1-2	
Rodamiento reductor		
Cadena		
Piñón sinfín		
Buje intermedio		
Amortiguador	TRANSPORTADOR TRANSVERSAL FRUTO 1-2	
Rodamiento motor		
Rodamiento reductor		
Chumacera		
Lamina de desgaste	TRANSPORTADOR DISTRIBUIDOR DE PEPA 1-2	DIGESTIÓN Y PRENSADO
Rodamiento motor		
Rodamiento reductor		
Acople		
Rodamiento chumacera		
Láminas de desgaste	TRANSPORTADOR DE RETORNO	
Acople flenderbipex		
Rodamiento		
Chumaceras		
Rodamientos motor	TAMIZ DE ACEITE CRUDO 1-2	CLARIFICACIÓN
Malla 20 mesh		
Malla 30 mesh		
Correas	BOMBAS DE ACEITE CRUDO 1-4	
Rodamientos motor		
Rodamientos bomba		
Impulsor bomba crudo		
Sello mecánico		
Variador electrónico	TANQUE CLARIFICADOR 1-2	CLARIFICACIÓN
Rodamiento motor		
Rodamiento reductor		
Tubería de acero		
Paletas agitadores		
Correas de transmisión		

Tabla 21. (Continuación)

Acople	BOMBA DE RECIRCULACIÓN A LOS CLARIFICADORES	CLARIFICACIÓN
Rodamientos bomba		
Rodamiento motor		
Válvulas		
Rodamientos motor	BOMBA DE ACEITE RECUPERADO DE LOS SEPARADORES 1-2	
Rodamiento impulsor		
Sello mecánico de bronce		
Rodamiento bombas	BOMBA DE ACEITE TERMINADO 1-3	
Rodamiento motor		
Válvulas		
Correas		
Impulsor		
Sello mecánico impulsor		
Rodamiento motor	BOMBA DE DESPACHO DE ACEITE DE PALMA 1-2	ALMACENAMIENTO O ACEITE ROJO
Rodamiento bomba		
Correas		
Serpentín de calentamiento	TANQUE DE ALMACENAMIENTO 1-7	
Válvula de aceite		
Tubería de vapor		
Tubería de aceite		
Empaquetaduras y tornillos		

Fuente: Autor del Proyecto

4.2.5 Programa de acciones proactivas. En el análisis de criticidad se determinó cuales equipos son aptos para realizar un mantenimiento correctivo con el fin de mejorar su desempeño y confiabilidad, en estos equipos se deben programar acciones y permitan mejorar sus condiciones; para ello se realizó un análisis sobre las acciones proactivas que se deben ejecutar, en la tabla se muestra la columna de Actividad, mencionando las acciones a ejecutar; Frecuencia, que nombra la variable de tiempo empleada entre cada ejecución; responsable, que describe la persona encargada de cumplir la labor.

Tabla 23. Programa acciones proactivas--Tolva

TOLVA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Revisar nivel de aceite hidráulico	Diario	Lubricador
Chequeo de actuadores hidráulicos (racores, mangueras y cilindros)	Diario	Mecánico
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Lubricar bujes de las compuertas	Semanal	Lubricador
Chequeo sistema eléctrico	Mensual	Electricista
Cambio de empaquetadura de sistema hidráulico	Anual	Mecánico
Chequeo de estructura	Mensual	Mecánico

Tabla 24. Programa acciones proactivas--Transportador de fruta suelta

TRANSPORTADOR REDLER	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Chequeo laminas desgaste	Mensual	Mecánico
Lubricación de rodamientos	Semanal	Lubricador
Revisar buje y soporte intermedio	Mensual	Mecánico
Chequeo/ Cambio cadena	Mensual	Mecánico
Cambio de rodamientos (motor, soporte)	Semestral	Mecánico

Tabla 25. Programa acciones proactivas--Transportador de pepa

TRANSPORTADOR DE PEPA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Revisar aceite reductor	Mensual	Lubricador
Chequeo sistema eléctrico	Mensual	Electricista
Revisar chumacera	Mensual	Mecánico
Cambio de rodamiento (motor-soporte)	Semestral	Mecánico

Tabla 26. Programa acciones proactivas--Tambor Limpiador de Pepa

TAMBOR LIMPIADOR DE PEPA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Verificar la tensión de la transmisión	Mensual	Mecánico
Chequeo / cambio (cadena-piñon)	Mensual	Mecánico

Tabla 27. Programa acciones proactivas--Variador de Tolva

VARIADOR DE TOLVA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Chequeo de cadena	Mensual	Mecánico
Lubricación de rodamientos	Semanal	Lubricador
Revisar piñones cadena y transmisión	Mensual	Mecánico
Tomar muestra de aceite del reductor	Anual	Lubricador
Chequeo/ Cambio de rodamientos (Motor-Soporte)	Anual	Mecánico

Tabla 28. Programa acciones proactivas--Sinfín bajo desfrutador

SINFÍN BAJO DESFRUTADOR	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Chequeo de cinta y colgantes sinfín	Mensual	Mecánico
Lubricación de cadena	Semanal	Lubricador
Lubricación rodamientos	Semanal	Lubricador
Chequeo sistema eléctrico	Mensual	Electricista
Cambio de aceite del reductor	Anual	Lubricador
Inspeccionar buje de soporte intermedio	Mensual	Mecánico
Chequeo/cambio (cadena-Correa)	Semanal	Mecánico

Tabla 29. Programa acciones proactivas--Transportador transversal de fruto

TRANSPORTADOR TRANSVERSAL FRUTO1	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Lubricar rodamientos	Semanal	Lubricador
Revisar nivel de aceite reductor	Semanal	Lubricador
Revisar sistema eléctrico	Mensual	Electricista
Cambio de aceite del reductor	Anual	Lubricador
Chequeo/cambio (cadena-correa)	Bimensual	Mecánico

Tabla 30. Programa acciones proactivas--Transportador distribuidor de fruto

TRANSPORTADOR DISTRIBUIDOR DE FRUTO	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Lubricación de rodamientos	Semanal	Lubricador
Revisar nivel de aceite del reductor	Semanal	Lubricador
Revisar buje y soporte intermedio	Mensual	Mecánico
Chequeo/ cambio cadena	Mensual	Mecánico
Chequeo sistema eléctrico	Mensual	Electricista
Chequeo de cinta sinfín y colgantes	Mensual	Mecánico
Cambiar aceite del reductor	Anual	Lubricador
Revisar el reductor	Anual	Lubricador
Tomar muestra de aceite del reductor	Anual	Lubricador

Tabla 31. Programa de acciones Proactivas--Tanque Clarificador

TANQUE CLARIFICADOR	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Revisar niveles aceite reductores de agitadores	Semanal	Lubricador
Chequeo de instrumentación /control niveles	Diario	Instrumentista
Revisión estado interno de los equipos	Mensual	Mecánico
Revisión serpentines, paletas agitadoras, bujes	Mensual	Mecánico
Revisión estado de las válvulas	Mensual	Instrumentista
Medición de los espesores	Anual	Contratista
Revisión rodamiento sellos impulsores bombas	Semestral	Mecánico

Tabla 32. Programa de acciones proactivas--Bombas de Clarificación

BOMBAS EN CLARIFICACIÓN	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Inspeccionar acople	Mensual	Mecánico
Revisión nivel de aceite	Mensual	Lubricador
Revisión de rodamientos	Semanal	Mecánico
Calibración , chequeo de válvulas	Semanal	Instrumentista
Lubricación de los rodamientos	Semanal	Lubricador
Revisión rodamientos y sellos impulsores bombas	Semestral	Mecánico
Revisión de niveles de aceites	Semanal	Lubricador

Tabla 33. Programa acciones proactivas--Almacenamiento de Aceite rojo

ALMACENAMIENTO DE ACEITE ROJO	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Inspeccionar estado del impulsor	Semestral	Mecánico
Revisión de sello mecánico	Semestral	Mecánico
Lubricación de los rodamientos	Semanal	Lubricador
Revisión de rodamientos	Semanal	Mecánico
Revisión de acople	Mensual	Mecánico
Chequeo instrumentación/control niveles	Mensual	Instrumentista
Revisión de trampa de condensado	Mensual	Mecánico
Revisión y limpieza de tubería y válvulas	Semanal	Mecánico
Medición de espesores	Anual	Contratista

4.3 EQUIPOS EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO

4.3.1 Mantenimiento Preventivo. Es el mantenimiento que se ejecuta a los equipos de un planta en forma planificada y programada, con base en inspecciones periódicas debidamente establecidas según la naturaleza de cada máquina y encaminadas a descubrir posibles defectos que puedan ocasionar paradas imprevistas de los equipos o daños mayores que afecten la vida útil de la maquina

El mantenimiento preventivo permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costo de reparaciones y detectar puntos débiles.

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

- **Fuentes internas:** registros e historiales de mantenimiento y reparación existente en la empresa y que informan sobre todas las actividades realizadas en los equipos e instalaciones durante el tiempo de permanencia en la organización.

- **Fuentes externas:** catálogos y recomendaciones del fabricante de los equipos.

Para la realización de un buen plan de mantenimiento preventivo se deben considerar:

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

Lo anterior se debe complementar con las acciones mecánicas y eléctricas que requieran los equipos para su óptimo funcionamiento.

4.3.2 Aplicación de mantenimiento preventivo en la planta. En la aplicación del mantenimiento preventivo, se encontraron algunos inconvenientes generados por un análisis incompleto de la información arrojada por el software y organización en la realización de las tareas. Además se presentan algunos inconvenientes como los siguientes:

- Demanda excesiva, temporal o permanente de producción.
- No se encuentra un punto de equilibrio entre costos de inspección y costos de daños.
- Se realizan cambios innecesarios, debido los elementos que se cambian pueden ser utilizados durante un tiempo más prolongado.
- Problemas iniciales de operación cuando se desarman, se montan piezas nuevas, se rearma, pueden aparecer diferencias en la estabilidad, seguridad o desempeño de la máquina.
- El mantenimiento no es efectuado y se presentan atrasos en la programación

4.3.3 Equipos incluidos en mantenimiento preventivo. De acuerdo al análisis de criticidad, en la tabla 33 se muestran los equipos que se incluyen en la aplicación del mantenimiento preventivo.

Tabla 34. Equipos de Mantenimiento Preventivo

EQUIPO	SECCION
Unidad hidráulica 1	Recepción de fruto
Unidad hidráulica 2	Recepción de fruto
Chasis	Recepción de fruto
Vagonetas	Recepción de fruto
Tractores John Deere (4 unidades)	Recepción de fruto
Cargadores Caterpillar (2 unidades)	Recepción de fruto
Zorros de desechos	Recepción de fruto
Bomba de condensados 1	Esterilización
Bomba de condensados 2	Esterilización
Esterilizador 1	Esterilización
Esterilizador 2	Esterilización
Esterilizador 3	Esterilización
Esterilizador 4	Esterilización
Esterilizador 5	Esterilización
Esterilizador 6	Esterilización
Chimenea batería esterilización 1	Esterilización
Chimenea batería esterilización 2	Esterilización
Monorriel grúa Demag 1	Desfrutación
Monorriel Demag 1 motor elevación	Desfrutación
Monorriel Demag 1 motor traslación	Desfrutación
Monorriel Demag 1 motor volteo	Desfrutación
Monorriel grúa Demag 2	Desfrutación
Monorriel Demag 2 motor levante	Desfrutación
Monorriel Demag 2 motor traslación	Desfrutación
Monorriel Demag 2 motor volteo	Desfrutación
Tambor desfrutador 1	Desfrutación
Tambor desfrutador 2	Desfrutación
Transportador de tusa 1	Desfrutación
Transportador de tusa 2	Desfrutación
Transportador de tusa 3	Desfrutación

Tabla 33. (Continuación)

Elevador de fruto 1	Digestión y prensado
Elevador de fruto 2	Digestión y prensado
Digestor 1	Digestión y prensado
Digestor 2	Digestión y prensado
Digestor 3	Digestión y prensado
Digestor 4	Digestión y prensado
Digestor 5	Digestión y prensado
Digestor 6	Digestión y prensado
Digestor 7	Digestión y prensado
Prensa 1	Digestión y prensado
Prensa 2	Digestión y prensado
Prensa 3	Digestión y prensado
Prensa 4	Digestión y prensado
Prensa 5	Digestión y prensado
Prensa 6	Digestión y prensado
Prensa 7	Digestión y prensado
Hidráulico prensa 1	Digestión y prensado
Hidráulico prensa 2	Digestión y prensado
Hidráulico prensa 3	Digestión y prensado
Hidráulico prensa 4	Digestión y prensado
Hidráulico prensa 5	Digestión y prensado
Hidráulico prensa 6	Digestión y prensado
Hidráulico prensa 7	Digestión y prensado
Transportador de ariche tipo basuca	Clarificación
Bomba 1 de aceite a secadores	Clarificación
Bomba 2 de aceite a secadores	Clarificación
Bomba desarenadora 1 (lodos)	Clarificación
Bomba desarenadora 2 (lodos)	Clarificación
Filtro cepillo 1	Clarificación
Filtro cepillo 2	Clarificación
Filtro cepillo 3	Clarificación
Separador de lodos 1	Clarificación
Separador de lodos 2	Clarificación
Separador de lodos 3	Clarificación
Separador de lodos 4	Clarificación
Separador de lodos 5	Clarificación
Separador de lodos 6	Clarificación
Separador de lodos 7	Clarificación
Bomba de recirculación de lodos 1-2	Clarificación

Fuente :Autor del Proyecto

4.3.4 Partes susceptibles a falla. En la tabla 34 se muestra las partes con probabilidad de falla de los equipos, en la aplicación del mantenimiento preventivo.

Tabla 35. Elementos susceptibles a falla equipos de mantenimiento preventivo

ELEMENTO	EQUIPO	SECCION
Vástago	UNIDAD HIDRAULICA 1-2	RECEPCION DE FRUTO
Filtro de llenado		
Filtro de aire		
Filtro de succión		
Camisa hidráulico		
Empaquetaduras		
Rodamientos motor y reductor	CHASIS Y VAGONETAS	RECEPCION DE FRUTO
Retenedores		
Ruedas		
Chumacera		
Ejes		
Laminas		
Filtro de aire motor	TRACTORES JOHN DEEERE (4 UNIDADES)	RECEPCION DE FRUTO
Filtro de combustión		
Filtro sistema hidráulico		
Filtro de aire		
Embrague		
Llantas		
Filtro de aire motor	CARGADORES CATERPILLAR (2 UNDS)	RECEPCION DE FRUTO
Filtro combustible		
Filtro transmisión		
Rodamientos motor	BOMBAS DE CONDENSADOS 1-2	ESTERILIZACIÓN
Sello cheque		
Empaquetadura tubería		
Rieles	ESTERILIZADOR 1-6	
Tubería de condensado		
Válvula bypass y entrada de vapor		
Válvula de purga y descarga		
Reductor sinfín corona de la puerta		

Tabla 34. (Continuación)

Cable (guaya)	MONORIEL GRUA DEMAG	DESFRUTACIÓN
Cadena eslabonada		
Rodamientos de motor de volteo y levante		
Sello reductor de volteo		
Poleas		
Piñón		
Contactador de volteo		
Rodamiento motor y reductor	TAMBOR DESFRUTADOR 1--2	
Chumacera		
Polea del motor		
Piñón de ataque		
Correas		
Platina cuerpo	TRANSPORTADOR DE TUSA 1-3	
Rodamiento soportador		
Retenedores		
Soporte		
Rodillos guía banda		
Banda transportador		
Rodamiento motor y reductor		
Cadena de transmisión	ELEVADOR DE FRUTO 1-2	
Rodamiento motor y reductor		
Chumaceras		
Cangilones metálicos		
Cadena		
Eje superior e inferior	DIGESTORES 1-7	DIGESTIÓN Y PRENSADO
Correas		
Acople de árbol		
Brazos agitadores cortos		
Brazos barredores		
Espárragos brazos barredores		
Mirilla digestor		
Camisa cilíndrica		
Mordazas		
Aceite SHC 632		
Retenedores		

Tabla 34. (Continuación)

Canasta perforada	PRENSA 1-7	DIGESTIÓN Y PRENSADO
Conos de ajuste de la prensa		
Eje alargadera derecho y izquierdo		
Tornillo sinfín fundición		
Ejes de fijación		
Tornillo sinfín helice izquierdo y derecho		
Rodamientos caja de transmisión		
Retenedores	HIDRÁULICO PRENSA 1-7	
Rodamiento motor		
Empaque cilindro hidráulico		
Acople omega e20	BOMBA DE ACEITE A SECADORES 1-3	CLARIFICACIÓN
Rodamiento motor		
Válvulas		
Rodamiento bomba	BOMBA DESARENADORA 1-2	
Válvula		
Correas		
Cepillos barredores	FILTRO CEPILLO	
Electrovalvulas		
Tubería flexible		
Rodamientos de motor		
Cableado de conexión		
Correas a 140	SEPARADOR DE LODOS 1-7	
Rodamientos motor		
Rodamientos centrifuga		
Boquilla inyectora		
Empaque de plomo		
Porta boquilla inoxidable		
Tuerca de fijación de boquilla		

4.3.5 Programa de acciones preventivas. Con el fin de preservar los equipos y evitar paradas imprevistas, se deben desarrollar actividades preventivas a los equipos mencionados anteriormente.

A continuación se muestran las tablas con el listado de las actividades preventivas para los equipos de las diferentes secciones:

Tabla 36. Programación preventiva--Unidad Hidráulica

UNIDAD HIDRAULICA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Cambio de filtro	Trimensual	Mecánico
Chequeo/ Cambio de aceite	Semanal	Lubricador
Revisión de nivel de aceite hidráulico	Diario	Lubricador
Calibración de válvulas	Mensual	Instrumentista

Tabla 37. Programación preventiva--Vagonetas y chasis

VAGONETAS Y CHASIS	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Reconstrucción de ejes	Anual	Mecánico
Cambio de rodamientos y retenedores	Mensual	Mecánico
Inspeccionar todo el sistema de rieles	Mensual	Mecánico
Engrase de ruedas	Diario	Mecánico
Aplicación de grasas para alta temperatura en la chumacera	Semanal	Lubricador
Limpieza de los componentes del chasis	Diario	Mecánico
Enderezar los perfiles estructurales de chasis	Bimensual	Mecánico
Reforzar las soldaduras	Mensual	Mecánico
Mantenimiento de chumaceras	Semanal	Mecánico

Tabla 38. Programación preventiva-- Tractor Jhon Deere y cargador Caterpillar

TRACTOR JHON DEERE Y CARGADOR CATERPILLAR	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Cambio de aceites, filtros y engrase general	Mensual	Lubricador
Chequeo frenos, batería, luces y ajustes	Mensual	Mecánico
Lubricación general	Semanal	Lubricador

Tabla 39. Programación preventiva--Bombas de condensados

BOMBAS DE CONDENSADOS	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Lubricación de los rodamientos	Semanal	Lubricador
Chequeo de rodamientos y sellos impulsores	Semestral	Mecánico
Revisión de niveles de aceites	Semanal	Lubricador

Tabla 40. Programación preventiva--Esterilizadores

ESTERILIZADORES	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Revisar fugas de vapor por tapas y camisas	Diario	Mecánico
Calibración/Chequeo de Válvulas	Semanal	Mecánico
Cheque/Cambio camisa de desgaste	Anual	Mecánico
Mantenimiento y calibración válvulas de seguridad	Anual	Mecánico
Inspección ultrasonido tubería condensado y vapor	Anual	Contratista
Limpieza trampa de vapor	Mensual	Mecánico
Chequeo/ Cambio de empaque válvulas	Mensual	Mecánico
Chequeo de sistemas neumático y actuadores	Mensual	Electricista
Cambio de rodamientos de puertas	Trimestral	Mecánico
Medición de espesores	Anual	Contratista

Tabla 41. Programación preventiva--Monorriel Demag

MONORRIEL DEMAG	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Chequeo sistema eléctrico	Mensual	Electricista
Revisión de motores	Semanal	Electricista
Inspección a la guaya de la grúa	Diaria	Mecánico
Revisión de finales de carrera	Semestral	Electricista
Revisión de aceite de los reductores	Semanal	Lubricador
Revisión y chequeo translación de la grúa	Semanal	Mecánico
Inspeccionar piñones y cadena de transmisión	Mensual	Mecánico
Medir aislamiento de motores eléctrico	Mensual	Electricista
Revisión de temperatura de los contactores	Mensual	Electricista
Revisión y lubricación de eje de traslación	Mensual	Lubricador
Cambio de aceite de motorreductor translación y volteo	Anual	Lubricador
Revisar rodamientos, piñones, cadena de volteo	Anual	Mecánico
Revisión de reductores de volteo y traslación	Mensual	Mecánico
Inspeccionar canales guía de la guaya	Mensual	Mecánico
Mantenimiento general	Anual	Contratista

Tabla 42. Programación Preventiva--Tambor Desfrutador

TAMBOR DESFRUTADOR	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Revisión de motores y reductores	Semanal	Electricista
Lubricación de rodamientos	Semanal	Lubricador
Revisión o cambio de chumaceras	Semanal	Mecánico
Chequeo/cambio (cadena-correa-amortiguador)	Mensual	Mecánico
Inspección de platinas de cuerpo	Mensual	Mecánico
Chequeo angulo/platinas y estrellas	Mensual	Mecánico
Chequeo/cambio de baberos	Mensual	Mecánico

Tabla 43. Programación Preventiva--Transportador de tusa

TRANSPORTADOR DE TUSA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Revisar nivel de aceite	Semanal	Lubricador
Lubricación de los reductores y motores	Semanal	Lubricador
Chequeo/Cambio de rodamientos	Mensual	Mecánico
Inspeccionar la banda del transportador	Mensual	Mecánico

Tabla 44. Programación Preventiva--Elevadores de Fruto

ELEVADORES DE FRUTO	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Ajustar cangilones	Mensual	Mecánico
Tensionar cadena	Semanal	Mecánico
Chequeo sistema eléctrico	Mensual	Electricista
Cambiar cadena y piñon superior	Anual	Mecánico
Cambio de rodamiento y chumacera	Anual	Mecánico
Lubricación de rodamientos	Anual	Lubricación
Tomar muestra de aceite del reductor	Anual	Lubricador

Tabla 45. Programa Preventivo--Digestores

DIGESTORES	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Engrase de buje de soporte de eje	Semanal	Mecánico
Revisar ajuste de paletas	Semanal	Mecánico
Revisar contacto de contactores	Mensual	Electricista
Revisar poleas y correas de transmisión	Mensual	Mecánico
Chequeo/Ajuste/Cambio brazos	Anual	Mecánico
Chequeo/Cambio retenedores reductor y eje arbol	Anual	Mecánico
Inspeccionar rodamientos del motor	Mensual	Mecánico
Chequeo/ cambio (cadena-correa-amortiguador)	Anual	Mecánico
Chequeo desgaste de camisa y cuerpo	Anual	Mecánico

Tabla 46. Programa Preventivo--Prensas

PRENSAS	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Cambio de correas trapezoidales	Semestral	Mecánico
Alineación de transmisión de prensas	Semestral	Mecánico
Cambio de rodamientos de transmisión sin fin corona (2, 3 5 y 7)	Mensual	Mecánico
Cambio de rodamientos en los motores de transmisión (1 y 4)	Mensual	Mecánico
Lubricación de todo el conjunto de prensa	Diario	Lubricador
Cambio de repuestos de la Housin porta canasta	Bimensual	Mecánico
Mantenimiento general de la transmisión de prensas	Anual	Mecánico
Balanceo de la transmisión y alineamiento	Semestral	Mecánico
Cambio rodamientos/Mantenimiento reductor	Mensual	Mecánico
Cambio canastas/sinfín	Mensual	Mecánico
Chequeo y/o cambio ejes de alargadera	Mensual	Mecánico
Chequeo y/o cambio ejes de fijadora	Mensual	Mecánico
Chequeo y/o cambio Laminas curvas y planas	Bimensual	Mecánico
Chequeo y/o cambio placa en forma de ocho	Bimensual	Mecánico

Tabla 47. Programa Preventivo--Transportador de Ariche

TRANSPORTADOR DE ARRICHE	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Lubricación de rodamientos	Semanal	Lubricador
Inspección de motores y reductores	Mensual	Mecánico
Revisión de chumaceras	Mensual	Mecánico

Tabla 48. Programa Preventivo--Bomba desarenadora

BOMBA DESARENADORA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Cambio rodamientos motor	Mensual	Mecánico
Chequeo/cambio impulsores-Sello mecánico	Mensual	Mecánico
Lubricación de los rodamientos	Semanal	Lubricador
Chequeo/Cambio acople (cadena-correa-amortiguador)	Mensual	Mecánico
Cambio rodamientos bomba	Mensual	Mecánico

Tabla 49. Programa Preventivo--Filtros Cepillo

FILTROS CEPILLOS	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Revisión del estado general de la carcasa	Trimestral	Mecánico
Revisar todas las tuberías, válvulas y bridas, suprimiendo los escapes que existan	Mensual	Mecánico
Verificar que el sistema de lavado y manómetro para el control de presión funcione correctamente	Trimestral	Mecánico
Verificar que el sistema de empuje de los cepillos hacia el cilindro de filtración	Trimestral	Mecánico
Revisar los cepillos de acero inoxidable, lámina perforada y los empaques del filtro	Mensual	Mecánico
Reparación general de los 3 cepillos	Anual	Mecánico
Verificar que no existan ruidos o vibración extraños en la operación del motorreductor	Trimestral	Mecánico
Chequeo/Limpieza mallas y peines	semanal	Mecánico
Chequeo instrumentación	Semanal	Instrumentista

Tabla 50. Programa Preventivo--Separadores de lodo

SEPARADORES DE LODO	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
limpieza general de las centrifugas	Diario	Mecánico
Revisión del grupo de boquillas	Mensual	Mecánico
Calibración de las boquillas	Mensual	Mecánico
Mantenimiento y cambio de repuestos en el rotor	Mensual	Mecánico
Mantenimiento de láminas o platinas	Mensual	Mecánico
Cambio de correas trapezoidal	Semestral	Mecánico
Lubricación de todo el conjunto de centrifugas	Semanal	Lubricador
Balanceo, cambio de retenedores y rectificado de ejes de transmisión	Anual	Contratista
Cambio de aceite	Anual	Lubricador
Mantenimiento de Bowl	Anual	Mecánico

Tabla 51. Programa Preventivo--Ciclones Desarenadores

CICLONES DESARENADORES	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Verificación de estado en los ciclones desarenadores	Diario	Mecánico
Cambio de empaques a las válvulas	Semestral	Mecánico
Cambio de los repuestos del sistema neumático de actuadores de válvula	Mensual	Instrumentista
Verificación de las bombas de los desarenadores	Semanal	Mecánico
Mantenimiento motor de transmisión	Mensual	Mecánico

Tabla 52. Programa Preventivo-- Bomba de recirculación de lodos

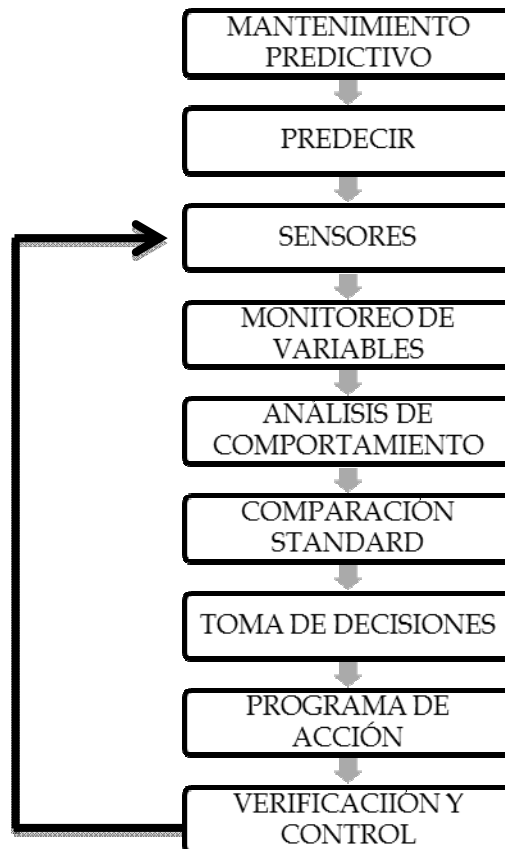
BOMBA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Hacer limpieza general	Semanal	Mecánico
Inspeccionar estado del impulsor	Semestral	Mecánico
Revisión de sello mecánico	Semestral	Mecánico
Lubricación de los rodamientos	Semanal	Lubricador
Revisión de rodamientos	Semanal	Mecánico
Revisión de acople	Mensual	Mecánico

4.4 EQUIPOS EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO

4.4.1 Mantenimiento Predictivo. Está basado en la determinación del estado de la maquina en operación, el concepto se basa en que las máquinas emitirán un tipo de aviso antes de fallar y este mantenimiento trata de percibir los síntomas y tomar acciones de manera planificada y programada.

Se trata de realizar ensayos no destructivos, como análisis de aceite; análisis de desgaste de partículas; medida de vibraciones; medida de temperatura; termografías,etc. A continuación en la figura 42 se muestra el procedimiento para la aplicación de un programa de mantenimiento predictivo.

Figura 42. Mantenimiento Predictivo



4.4.2 Aplicación de mantenimiento predictivo en la planta. Para el desarrollo del mantenimiento predictivo es necesario contar con los equipos utilizados para el monitoreo de variables, en ocasiones no se cuenta con la totalidad de estos, por tanto, puede acudir a la contratación de servicios con compañías especializadas que prestan la asesoría y efectúan los análisis pertinentes para determinar el estado de los equipos. Debido al alto costo de estos estudios, el monitoreo de variables se ejecuta en un periodo amplio de tiempo.

4.4.3 Equipos con aplicación de mantenimiento predictivo. En la tabla 52 se muestran los equipos determinados mediante el análisis de criticidad para este tipo de mantenimiento.

Tabla 53. Equipos en Mantenimiento Predictivo

EQUIPO	SECCIÓN
Caldera Towler 1	Auxiliares
Caldera Towler 2	Auxiliares
Caldera Vyncke	Auxiliares
Turbina Shinko	Auxiliares
Planta Caterpillar	Auxiliares

Fuente: Autor del Proyecto

4.4.4 Partes susceptibles a falla. En la tabla 53 se presentan los elementos que tienen alta probabilidad de falla para los equipos anteriores.

Debido a su gran importancia en el proceso, estos equipos reciben un mantenimiento predictivo y en su gran mayoría es realizado por solicitud a empresas especializadas en el tema.

Tabla 54. Equipos en mantenimiento Predictivo

ELEMENTO	EQUIPO	SECCION
Potenciómetro p500	CALDERAS	AUXILIARES
Bobinas de accionamiento sistema hidráulico		
Rodamientos motores		
Chumacera transportador ceniza		
Rodamiento chumacera transportador ceniza		
Rodillos parrilla		
Rodamientos motor aire secundario		
Displays señales calderas		
Chumacera tiro inducido		
Rodamiento tiro inducido ventilador		
Rodamiento tiro inducido motor		
Empaquetadura 5/8		
Polea ventilador tiro inducido		
Polea motor tiro inducido		
Rodete		
Caja prensaestopas		
Aros de alojamiento		
Anillos grafito		
Válvulas de control		
Rodamientos generador		
Escobillas	PLANTA CATERPILLAR	
Filtro aceite		
Filtro combustible		
Correas Caterpillar dentadas		
Filtro aceite para el motor		
Filtro de aire (primario-secundario		
Filtro combustión		
Filtro transmisión		

Fuente: Autor del proyecto

4.4.5 Programa de acciones predictivas. Estos equipos son analizados y monitoreados constantemente con el fin de prevenir fallas y paradas en la producción; además reciben acciones preventivas para mantener las maquinas en operación; en las tablas siguientes se enumeran las actividades que se ejecutan, resaltando las acciones predictivas.

Tabla 55. Programación preventiva y acciones Predictivas--Calderas

CALDERAS	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Chequeo sistema eléctrico	Semanal	Electricista
Chequeo instrumentación/Control de niveles	Semanal	Instrumentista
Cambio rodamientos motor	Semestral	Mecánico
Chequeo sistema neumático y actuadores	Mensual	Electricista
Chequeo sistema electrohidráulico	Mensual	Instrumentista
Calibración y chequeo de válvulas	Semanal	Instrumentista
Chequeo/cambio de aceite	Semanal	Lubricador
Chequeo actuadores hidráulicos	Mensual	Mecánico
Lubricación chequeo de bombas	Mensual	Mecánico
Chequeo/cambio rodamientos ventilador tiro inducido	Semestral	Instrumentista
Medición de espesores cuerpo y domo	Anual	Contratista
Medición de vibraciones en Ventilador tiro inducido	Semestral	Contratista
Mantenimiento de compuertas	Anual	Contratista
Inspección de espesores en la láminas de la chimenea	Anual	Contratista
Calibración del potenciómetro	Mensual	Instrumentista
Revisión de tuberías y ductos de la caldera	Semanal	Mecánico

Tabla 56. Programación preventiva y acciones Predictivas--Turbina Shinko

TURBINA SHINKO	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Chequeo sistema eléctrico	Semanal	Electricista
Chequeo instrumentación/Control de niveles	Semanal	Instrumentista
Calibración y chequeo de válvulas	Semanal	Instrumentista
Chequeo/cambio de aceite	Semanal	Lubricador
Cambio de rodamientos y mto generador	Anual	Contratista
Alineación turbina generador	Anual	Contratista
Análisis de vibraciones	Anual	Contratista
Análisis de aceite	Semestral	Lubricador

Tabla 57. Programación preventiva y acciones predictivas--Planta Caterpillar

PLANTA CATERPILLAR	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ACTIVIDADES		
Comprobación de funcionamiento	Semanal	Mecánico
Chequeo sistema eléctrico	Semanal	Electricista
Chequeo instrumentación/Control de niveles	Semanal	Instrumentista
Calibración y chequeo de válvulas	Semanal	Instrumentista
Chequeo/ Cambio correas	Mensual	Mecánico
Cambio de filtro	Mensual	Mecánico
Chequeo/cambio de aceite	Semanal	Lubricador
Cambio de rodamientos y mto generador	Anual	Contratista
Chequeo alternador y motor de arranque	Mensual	Mecánico
Análisis de vibraciones	Anual	Contratista

4.5 PROPUESTA DE MEJORA A DOCUMENTOS TÉCNICOS

Actualmente la programación del mantenimiento para los equipos de la planta se hace con base en la inspección y la generación de Ordenes de Trabajo realizadas por el software Impact XP, los cuales se convierten en un listado numeroso de actividades por realizar, éstas son reportadas en un formato de acuerdo al orden en que son generadas por el software, cuyo criterio único para la generación, es el cumplimiento de un tiempo establecido para que se ejecute de nuevo una actividad. Este control de tiempo es llevado por la alimentación al software de las lecturas tomadas en los horómetros. Se determinó que en la mayoría de los casos, algunas actividades no pueden ser ejecutadas de acuerdo a la fecha establecida y deben ser reprogramadas, debido a la producción, lo que termina en un acumulamiento de actividades.

Para mejorar la planeación y programación se ha propuesto un mejoramiento en el formato de programación mensual de mantenimiento, el cual se muestra en la figura 43.

5. RUTAS DE INSPECCIÓN.

Las fallas en los equipos están precedidas de signos o condiciones indicadoras del mal funcionamiento, las cuales permiten predecir las fallas; estas son tomadas a través de procedimiento y equipos de control que pueden ser de inspección y/o medición, entre estos tenemos:

- ✓ Termografía infrarroja
- ✓ Análisis de vibraciones
- ✓ Láser y óptica
- ✓ Medición de espesores
- ✓ Estetoscopio - detector ultrasónico
- ✓ Chequeo en motores eléctricos
- ✓ Análisis de aceites
- ✓ Instrumentos de medición

A pesar de requerir altas inversiones iniciales, a largo plazo es más económico y permite una optimización y mejora de la calidad del mantenimiento.

Los checklist o lista de verificación es un tipo de ayuda de trabajo informativo que sirve para analizar, comprobar, verificar el estado del equipo. Se construye tomando en cuenta la importancia y necesidades del equipo. Esto ayuda a garantizar la implementación de un adecuado mantenimiento.

Teniendo en cuenta las necesidades en la organización y documentación para la gestión del mantenimiento, se crearon rutas de inspección que permitirá una mejora en la planificación y programación de las actividades.

5.1 TERMOGRAFIA

El análisis de termografía es una técnica basada en el hecho de que todos los cuerpos, por estar a una temperatura superior al cero absoluto, emiten una radiación electromagnética. Una de las evidencias o variables más claramente identificadoras de la degradación funcional de una gran número de elementos (rodamientos, reductores, conexiones eléctricas, componentes eléctricos, etc.) es la temperatura. Dicha temperatura provoca una radiación, y los sistemas de termografía infrarroja son capaces de captarla y convertirla en una imagen que representa la distribución de temperatura superficial del objeto. Si se detecta un punto, zona, componente anormalmente caliente con respecto a zonas colaterales con función similar, se estará detectando una anomalía.

Actualmente este tipo de análisis se utiliza para controlar el estado de:


- Cuadros eléctricos
- Subestación de media tensión
- Inspección de componentes mecánicos
- Generadores de energía (turbina y planta eléctrica)

De acuerdo a las necesidades y planeación se programa el análisis de termografía, por medio de una solicitud de requisición de servicio, expedida por el jefe de mantenimiento y ejecutada por una contratista; esta se encarga de realizar la inspección y presentar un informe al Área de mantenimiento.

Con el fin de organizar y documentar la información, se crearon unas rutas de termografía, que permiten identificar los equipos más críticos a los cuales se les debe ejecutar este tipo de análisis.

Se hará una propuesta para crear una base de datos donde se lleve una relación de las revisiones efectuadas en cada mes, anomalías encontradas contarán con su descripción, sus soluciones y su seguimiento, esto ayudará a tener información necesaria sobre el comportamiento de los equipos; esta base de datos se deberá llenar basándose en los informes presentados por la compañía contratada para el estudio. A continuación se presenta el formato propuesto:

Figura 45. Ruta termografía--Base de datos

	RUTA DE TERMOGRAFIA												UNO-IND-FO-XX		
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	DESCRIPCIONES	SOLUCIONES	OBSERVACIONES
													REVISION	FECHA	
SUBESTACIÓN															
TABLEROS ELECTRICOS															
SALA DE MAQUINAS															
TURBINA															
PLANTA ELECTRICAS															

Realizado por FIRMA	Aprobado por Auxiliar o Asistente de Mantenimiento FIRMA
------------------------	---

Fuente: Indupalma Ltda. y Autor del Proyecto

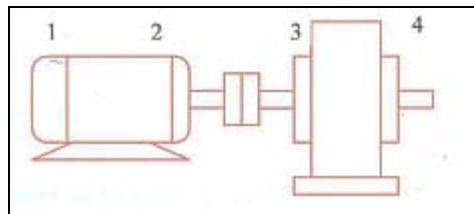
5.2 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

El mantenimiento predictivo mediante vibraciones es, hoy en día, uno de los métodos concretos en los que más se ha avanzado dentro de las tecnologías del mantenimiento. Su funcionamiento es relativamente simple: por muy perfectas que sean todas las máquinas, equipos, válvulas, intercambiadores de calor, etc., vibran en su funcionamiento y dentro de dichas vibraciones se almacena gran cantidad de información que puede ser útil para conocer el estado de la máquina.

Para la toma de datos se escogen unos puntos clave (configuración de la ruta de medida):

- Los puntos de medida se definen desde la fuente motriz, es decir comenzando por el del ventilador de los motores y siguiendo el camino de transmisión de potencia. Normalmente se escogen los puntos de apoyo, pues allí se sentirán con mayor facilidad los efectos vibratorios. Como se muestra en la figura 44.

Figura 46. Punto de inspección para el análisis de vibración



- La codificación utilizada para identificar cada punto comienza con un número asignado, luego una inicial que indica si la medida se toma vertical (V), axial (A) u horizontal (H). El tercer elemento de identificación corresponde al parámetro cinemático a medir, puede ser desplazamiento (d), velocidad (v) o aceleración.

- Máquina de tamaño medio (Clase 2): Máquina con motor eléctrico de 15-75 KW o hasta 300 KW sobre cimientos especiales.
- Máquina grande A (Clase 3): Máquina grande montada sobre cimientos rígidos y pesados
- Máquina grande B (Clase 4): Máquina grande montada sobre cimientos relativamente blando en la dirección de la medición de vibraciones.

Tabla 59. Niveles de severidad para evaluación de rodamientos

Rango de aceleración pico (G's)	Clasificación de las máquinas de acuerdo con velocidad y diámetro de eje			
	CLASE I	CLASE II	CLASE III	
Mayor	D	D	D	
10			C	B
8				
7				
6				
5				
4				
3		B	A	
2				
1		C	A	
0,75	B			
0,5	A			

Clasificación para análisis de vibración en rodamientos

(a) Cojinete Clase 3:

- Diámetro interior de cojinete: entre 20 y 150 mm
- Velocidad del árbol: entre 1800 y 3600 r.p.m

(b) Cojinete Clase 2:

- Diámetro interior de cojinete: entre 20 y 150 mm
- Velocidad del árbol: entre 1800 y 3600 r.p.m

(c) Cojinete Clase 3:

- Diámetro interior de cojinete: entre 20 y 150 mm
- Velocidad del árbol: entre 1800 y 3600 rpm

Evaluación

Zona A (Buena): En esta zona debería estar la vibración en máquinas nuevas

Zona B (Satisfactoria): Las máquinas con vibración en esta zona son consideradas normalmente aceptables para largos periodos de operación.

Zona C (Precaución): Las máquinas con vibración en esta zona son consideradas normalmente insatisfactoria para largos periodos de operación continua. La máquina puede ser operada por un tiempo limitado en esta condición hasta una oportunidad conveniente para una acción remedial.

Zona D (Peligro): los valores de vibración en esta zona son considerados lo suficientemente severos para producir daño en la máquina.

De acuerdo a la normatividad expuesta y a la evaluación que se hace a la máquina, se ha propuesto un formato de ruta en la que se expone los puntos posibles para el análisis y unas casillas donde se debe marcar el estado en que se encuentra de la siguiente forma:

B: Buena

S: Satisfactoria

Pr: Precaución

Pe: Peligro

Este formato servirá de guía para el inspector de la compañía contratada para el análisis de vibraciones y una vez realizado el diagnostico será útil para el área de mantenimiento en la medida que se tomen decisiones respecto al estudio entregado.

A continuación se muestra el formato propuesto:

5.3 ANALISIS DE ACEITES USADOS

El mantenimiento predictivo basado en los análisis químicos de aceite y de las partículas que tienen en suspensión, es un método extremadamente útil y lamentablemente poco extendido en nuestro entorno de mantenimiento industrial. Existe algunos laboratorios que con suficientemente tecnología, experiencia y metodología son capaces de establecer criterios de aceptabilidad y rechazo de estos aceites para determinar no solo los periodos óptimos de sustitución de los mismos sino las causas que están originando su degradación y contaminación.

El análisis de aceite usado es una forma científica de evaluar las condiciones tanto de aceite como de los componentes o sistemas del equipo que lo usan bajo las condiciones de operación. Este requiere una permanente constancia en la toma de muestras, buscando:

- **Toma en Caliente:** La muestra se debe tomar a la Temperatura de Operación.
- **Consistente:** se debe realizar siempre en el mismo punto de toma.
- **Limpio:** Toma de muestras a través de una válvula de muestreo (mejor antes del filtro), botella limpia, mangueras limpias, uso de herramientas y accesorios adecuados para toma de muestra.

A continuación se muestra un breve resumen sobre análisis de aceite usado:

Tabla 60. Resumen análisis de aceite usados.

OBJETIVOS	DETECCION DE CAUSA RAIZ	DIAGNOSTICO DE PROBLEMA	PRONOSTICO DE FALLA	DURABILIDAD DEL EQUIPO/LUBRICANTE
Qué es lo que el análisis de aceite le indica?	<ul style="list-style-type: none"> Cuando algo está pasando y que puede conllevar a una falla 	<ul style="list-style-type: none"> Cuál es la naturaleza del problema que se ha estado observando 	<ul style="list-style-type: none"> Que un equipo es desgastado y necesita ser arreglado o remplazado 	<ul style="list-style-type: none"> El equipos está sobrecargado? Esta el lubricante sobrecargado?
Que se analiza o Monitorea	<ul style="list-style-type: none"> Partículas, humedad, viscosidad, temperatura, aditivos, oxidación, TBN/TAN, hollín, glicol, FTIR 	<ul style="list-style-type: none"> Residuos de desgaste, análisis elemental, humedad, conteo de partículas, temperatura, viscosidad 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis elemental, Análisis de vibración 	<ul style="list-style-type: none"> Viscosidad, aditivos, análisis elemental, TBN/TAN, hollín FTIR

Fuente: Mobil Lubricantes

Actualmente se tiene contratado este tipo de análisis y se realiza aplicando las técnicas de muestreo sugeridas por la compañía de lubricantes, incluye varios equipos seleccionados según la criticidad en el proceso, estas muestras son enviadas perfectamente etiquetadas. En la figura 48 se muestra una etiqueta.


Figura 48. Etiqueta para toma de muestra.

SIGNUM OIL ANALYSIS		GB 212635 30855642 29
212635		Fecha Muestra: _____
INDUPALMA		Edad Equipo: _____ Hr/Mi/Km
BUCARAMANGA		Edad Aceite: _____ Hr/Mi/Km
Unidad:		Vol. de Relleno: _____ Gal/L
DIGESTOR No. 7		Aceite Cambiado: _____ S/N
CARTER DIGESTOR		Filtro Cambiado: _____ S/N
Apl: Transmisión por		Temp del Depósito: _____ F/C
GB 212635 30855642		Temp de motor de gas _____ F/C
MOBIL SHC 634		Aceite Ent: _____ Sal: _____
IGS_An		Anticong Ent: _____ Sal: _____

Fuente: Indupalma Ltda.

Una vez analizada la muestra, el área de mantenimiento recibe un informe detallado de las características del aceite, si hay necesidad de cambiarlo, si esta normal o si existe algún problema; finalmente se procede a desarrollar las recomendaciones propuestas por el laboratorio.

Figura 49. Resultado del laboratorio

SIGNUM		OIL ANALYSIS		DIGESTOR No. 7 Precaución					
Número de la Cuenta	212635	Descripción	CARTER DIGESTOR						
Nombre de la Cuenta	INDUPALMA	Aplicación	Transmisor Engranajes						
Fecha	18-ene-2011	Fabricante	BROWNING						
Número Signum	30855642	Modelo	NA						
		Lubricante Registrado	MOBIL SHC 634						
<p>Comentarios: Hay SEDIMENTO VISIBLE que impide la realización de ciertos análisis porque el nivel de sedimento en la muestra podría dañar los equipos de precisión del laboratorio. El lubricante no debe tener sedimentos visibles. Tome una nueva muestra evitando que material y/o sedimentos externos ingresen en la muestra. Si una segunda muestra presenta sedimentos, considere lo siguiente: 1. La muestra no fue tomada del fondo del depósito, 2. Verifique que el punto de muestra es el correcto cada vez que se toman muestras. 3. Asegure que todas las tapas y respiraderos del tanque estén correctamente colocados. 4. Si es aplicable, verifique que los filtros y/o centrifugas estén funcionando adecuadamente. 5. Verifique las bombas no turbulentas en busca de contaminación localizada. 6. Si la muestra es considerada como representativa del sistema, entonces drene el sistema y proceda a limpiarlo, o realice una adecuada filtración para remover el sedimento.</p>									
ID de la Muestra	1013921356	0316397340	0061645323	9329273339	ID de la Muestra	1013921356031639734000616453239329273339			
Fecha de Toma de Muestra	07-ene-2011	10-nov-2010	26-feb-2010	21-nov-2009	Fecha de Toma de Muestra	07-ene-2011	10-nov-2010	26-feb-2010	21-nov-2009
Fecha del Informe	18-ene-2011	18-nov-2010	05-mar-2010	26-nov-2009					
Marca	MOBIL	MOBIL	MOBIL	MOBIL	Elementos Del Desgaste - ppm (mg/kg)				
Lubricante Analizado	SHC 634	SHC 634	SHC 634	SHC 634	Al (Aluminio)	0	2	1	4
Equipo	16	15	15	15	Cr (Cromo)	0	0	1	1
Edad del Aceite	1524	3675	4386	3000	Cu (Cobre)	49	38	144	118
Temp. del Dep. Relleno	0	0	2	3	Fe (Hierro)	49	24	22	11
Galones	0	0	2	3	Mo (Molibdeno)	0	0	0	0
Cambio Aceite	N	N	N	N	Ni (Níquel)	0	0	0	0
Cambio Filtro	N	N	N	N	Pb (Plomo)	0	0	1	0
					Sn	2	1	9	7
					(Estaño)				
Datos del lubricante					Elementos contaminantes (ppm) - ppm (mg/kg)				
Ev. de Contamin.	+Precaución	+Precaución	Normal	Normal	B (Boro)	1	0	0	0
Evaluación del Aceite	Normal	Normal	Normal	Normal	K (Potasio)	0	+7	0	0
Viscosidad @ 40C	455.0	+415.9	484.8	472.6	Na (Sodio)	0	0	5	5
Código ISO (4/6/14)	+	+			Si (Silicio)	26	30	17	32
Partículas >4 mic PQ	20	25			Elementos aditivos - ppm (mg/kg)				
TAN (mg KOH/g)	0.64	0.67	0.26	0.48	Ba (Bario)	0	0	0	0
Agua (Plancha Cal.)			No Detectado	No Detectado	Ca (Calcio)	2	2	6	0
Agua (%vol)	<0.003	0.011			Mg (Magnesio)	0	0	1	0
					P (Fósforo)	950	1044	874	878
					Zn (Zinc)	6	8	7	3
<p>Los resultados y comentarios de este análisis son solo recomendaciones; la validez de la información puede ser afectada por la toma de una muestra no representativa o por información incorrecta. Este análisis se provee como información confidencial para quien lo manda. Su uso por cualquier otra persona queda estrictamente prohibido. © Derechos Reservados 2003 Exxon Mobil Corporation. Exxon, Esso, Mobil, ExxonMobil y Signum son marcas registradas de Exxon Mobil Corporation o alguna de sus subsidiarias. Afiliada de Comercialización ExxonMobil Lubricants & Specialties</p>									
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="background-color: green; color: white; padding: 2px 10px; border: 1px solid black;">Normal</div> <div style="background-color: yellow; color: black; padding: 2px 10px; border: 1px solid black;">+Precaución</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 10px; border: 1px solid black;">*Alerta</div> </div>									

Fuente: Indupalma Ltda.

De acuerdo al análisis de criticidad realizado y la cantidad o volumen de aceite utilizado, a continuación se enlistan los equipos a los cuales se les debe hacer el análisis de aceite:

- Prensas
- Digestores
- Turbina Shinko
- Plantas eléctricas
- Centrifugas

5.4 MEDICION DE ESPESORES POR ULTRASONIDO

La prueba de medición de espesores por Ultrasonido (UT) es un procedimiento de inspección no destructiva de tipo mecánico, que se basa en la propiedad de impedancia acústica de los materiales, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad de un material. Para ello se coloca sobre la superficie del material o elemento a inspeccionar un palpador de tipo normal (90°), mediante este elemento se hacen pasar ondas a alta frecuencia 20KHz, que son transmitidas al material, al circular estas ondas sobre la superficie inician a propagarse sobre la superficie próxima al alcance y nivel de penetración de las ondas (Esto previamente calibrado sobre el equipo), en cada discontinuidad, defecto localizado o simplemente espesor del material, estas ondas son reflejadas y recibidas por el palpador para finalmente ser mostradas y medidas en el equipo de realización de esta prueba, acorde a los criterios dados por normas NDT (ASME, API, ASTM) se realiza la evaluación y valoración de dichas indicaciones.

El objetivo principal es conocer el estado actual de los diferentes equipos, con el fin de precisar su factibilidad de operación en condiciones normales y además determinar la vida útil del mismo.

Para el procedimiento de inspección se realiza:


- Limpieza de la superficie: toda lámina a inspeccionar en cada uno de los equipos debe estar libre de impurezas, pintura, oxido y demás agentes que puedan impedir la correcta interpretación de los puntos a inspeccionar. El objeto de la limpieza es permitir un correcto contacto entre el cristal palpador y la superficie.
- Ubicación de los puntos: se debe realizar a través de una división al contorno del equipo.
- Cantidad de puntos a inspeccionar: se debe especificar la cantidad de puntos dependiendo de la prioridad, el tamaño y la criticidad del equipo.

El Área de mantenimiento no posee los equipos necesarios para aplicar esta técnica por lo tanto se hace una solicitud de servicio para la medición de espesores por ultrasonido a todo costo en equipos de la planta extractora de Indupalma Ltda.

Para obtener una mayor organización se propuso un formato para la realización de la medición de espesores; donde se enlistan los equipos de acuerdo al análisis de criticidad y a la programación de mantenimiento, especificando la cantidad de puntos a inspeccionar.

El formato propuesto se muestra en la Figura 50

Figura 50. Medición de espesores por ultrasonido

		MEDICIÓN DE ESPESORES		UNO-IND-FO-XX	
				REVISION	FECHA
SOLICITANTE:			FECHA Y HORA:		
ENTIDAD RESPONSABLE:		INSPECTOR:	EQUIPO UTILIZADO:		MARCA:
			REFERENCIA:		
EQUIPO		NUMERO DE PUNTOS		OBSERVACIONES	
TANQUE ELEVADO		30			
TANQUE DE AGUA SUAVIZADA		30			
DOMO VINCKE		35			
FILTRO 1		50			
FILTRO 2		50			
FILTRO 3		50			
SUAVIZADOR 1		50			
SUAVIZADOR 2		50			
SUAVIZADOR 3		50			
FLOCULADOR 1		60			
FLOCULADOR 2		60			
DISTRIBUIDOR DE VAPOR		60			
CLARIFICADOR 1		200			
CLARIFICADOR 2		200			
T. ALMACENAMIENTO AC1		50			
T. ALMACENAMIENTO AC2		50			
T. ALMACENAMIENTO AC3		50			
T. ALMACENAMIENTO AC4		50			
T. ALMACENAMIENTO AC1		50			
T. ALMACENAMIENTO AC5		50			
T. ALMACENAMIENTO AC6		50			
ESTEREILIZADOR 1		368			
ESTEREILIZADOR 2		368			
ESTEREILIZADOR 3		368			
ESTEREILIZADOR 4		368			
ESTEREILIZADOR 5		368			
ESTEREILIZADOR 6		368			
Realizado por FIRMA			Aprobado por auxiliar o asistente de mantenimiento Firma		

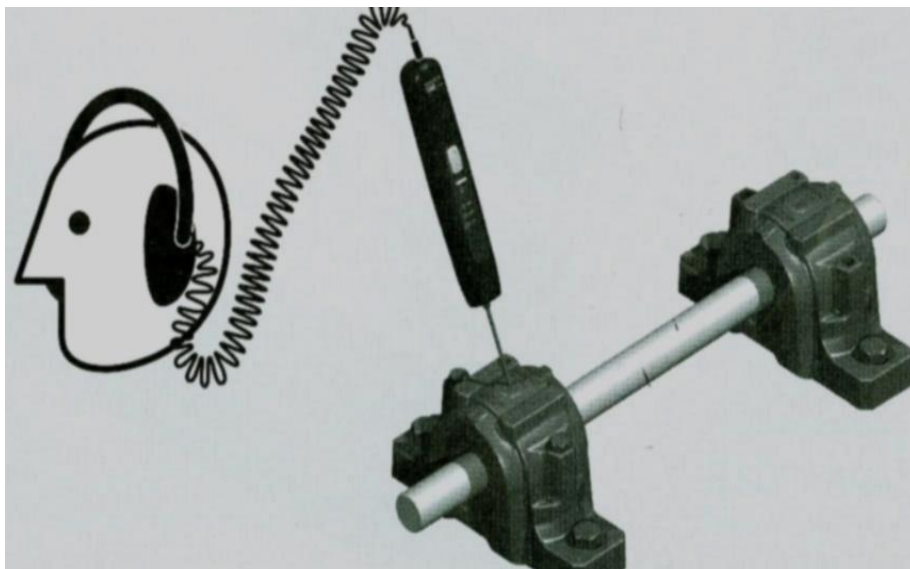
Fuente: Autor de Proyecto

5.5 RUTA DE CONTROL DE RODAMIENTOS

La ruta de control de rodamientos se realiza con el fonendoscopio, equipo ideal para la inspección de ruidos, control de vibraciones de rodamientos e inspección continua. Los ruidos de los rodamientos se amplían enormemente con ayuda del fonendoscopio y mediante auriculares muy bien aislados, se reduce notablemente los ruidos ambientales. Los fonendoscopios poseen dos diferentes puntas de medición que permiten acceder a lugares de difícil acceso.

A continuación en la figura 51, se presenta la forma de uso del fonendoscopio


Figura 51. Fonendoscopio



Fuente: SKF TSMT 3

Para un mayor control en los rodamientos la empresa cuenta con una ruta, esta es presentada en la figura 52.

Figura 52. Ruta control de Rodamientos.

 INDUPALMA <small>Respetando el patrimonio de su cliente</small>		RUTA CONTROL DE RODAMIENTOS						UNO-IND-FO-013
								Revisión: 02 Fecha: 30/01/2008
NOMBRE _____		FECHA _____						PAGINA_2 DE 2_
EQUIPO	MOTOR		REDUCTOR		BOMBA		OBSERVACIONES	
	LADO EJE	LADO VENT	ENTRADA	SALIDA	LADO ACOPLE	IMPULSOR		
GENERACION DE VAPOR								
CALDERA TOMLER 1								
VENT TIRO INDUCIDO (T1)								
VENT TIRO FORZAD 1(T1)								
VENT TIRO FORZAD 2 (T1)								
CALDERA TOMLER 2								
VENT TIRO INDUCIDO (T2)								
VENT TIRO FORZAD 1 (T2)								
VENT TIRO FORZAD 2 (T2)								
CALDERA VYNCKE								
TORNI ALIMENTACIO (C.V)								
UNIDAD HIDRAULICA (C.V)								
TRANSP GENIZ AGUA (C.V)								
TRANSP GENI HUMEDA (CV)								
TRANSP GENIZ SECA (CV)								
VENT DE HUMO (C.V)								
VENT AIRE PRIMAR (C.V)								
VENT AIRE SECUN (C.V)								
BOMBA 1								
BOMBA 2								
TRATAMIENTO DE AGUAS								
BOMBA FILTRO1								
BOMBA FILTRO2								
B TANQUE ELEVADO 1								
B TANQUE ELEVADO 2								
COMPRESOR TORNI SULLAIR								

Realizado por
FIRMA _____

Aprobado por Auxiliar o Asistente de Mantenimiento
FIRMA _____

5.6 RUTA DE AMPERAJE

La ruta de realiza con el equipos eléctricos de medición y es ejecutada por el electricista. Consiste en medir la intensidad de la corriente eléctrica que consume el motor y compararla con la estándar que viene indicada en las placas del equipo. Esta es tomada en el tablero de control, ubicado en cada sección, el instrumento de medida es colocado en los conductores por donde circula la corriente y se toma la respectiva lectura para cada una de las tres fases; esta debe ser menor comparada con la estándar para que el equipo este en óptimas condiciones. A continuación se muestra la ejecución de la ruta de medición de amperaje:


Figura 53. Toma de medida de amperaje a motores



Fuente: Indupalma Ltda.

La principal función de la ruta es conocer la cantidad de corriente que circula por los conductores y que son consumida por el motor con el fin de verificar el buen funcionamiento del equipos.

Figura 54. Ruta de Amperaje

	RUTA CONTROL DE AMPERAJE MOTORES				UNO-IND-FO-009	
			Revisión: 02		30-ene-08	
NOMBRE _____			FECHA _____			
PAGINA 1 DE 2						
EQUIPO	DATOS DE PLACA		MEDIDAS TOMADAS EN EL MOTOR			OBSERVACIONES
	TENSION	AMP	FASE 1	FASE 2	FASE 3	
DESFRUTAMIENTO						
DEMAG 1 MOTOR PRINC	380	47,00				
DEMAG 1 MOTOR TRASLA	380	2,20				
DEMAG 1 MOTOR VOLTEO	380	4,5				
DEMAG 2 MOTOR PRIN	380	47,00				
DEMAG 2 MOTOR TRASLA	380	1,80				
DEMAG 2 MOTOR VOLTEO	380	4,5				
TAMBOR DFRUTADOR 1	440	29,50				
TAMBOR DFRUTADOR 2	440	29,50				
ELEVADOR DE FRUTO 1	440	5,50				
ELEVADOR DE FRUTO 2	440	5,30				
DIGESTION Y PRENSADO						
DIGESTOR 1	380	58,00				
DIGESTOR 2	380	45,50				
DIGESTOR 3	380	58,00				
DIGESTOR 4	440					
DIGESTOR 5	380	58,00				
DIGESTOR 6	380	58,00				
DIGESTOR 7	380	46,00				
PRENSA 1	440	50,00				
PRENSA 2	440	48,00				
PRENSA 3	440	50,00				
PRENSA 4	440	72,00				
PRENSA 5	440	48,00				
PRENSA 6	440	50,00				
PRENSA 7	440	68,00				
CLARIFICACION						
SEPARADOR DE LODOS 1	440	26,50				
SEPARADOR DE LODOS 2	380	46,50				
SEPARADOR DE LODOS 3	440	37,47				
SEPARADOR DE LODOS 4	380	52,00				
SEPARADOR DE LODOS 5	380	46,50				
SEPARADOR DE LODOS 6	380	52,00				
SEPARADOR DE LODOS 7	380	52,00				
DESFIBRACION						
TRANS DE TORTA 1	440	26 A				
TRANS DE TORTA 2	440	26 A				
TRANS TVSAL DE TORTA	380	5,35				
VENTILADOR DE FIBRA 1	440	94,00				
VENTILADOR DE FIBRA 2	440	120,00				
ESCLUSA DE FIBRA 1	440	7,30				
ESCLUSA DE FIBRA 2	380	3,70				
TAMBOR PDOR NUECES 1	380	6,60				
TAMBOR PDOR NUECES 2	380	9,20				
REALIZO _____			REVISO _____			

Fuente: Indupalma Ltda.

5.7 RUTA DE LUBRICACIÓN

La lubricación es una actividad que generalmente es realizada según los mismos conceptos de mantenimiento preventivo. Es una tarea basada en rutinas de inspección, donde se debe:

- ✓ Aplicar lubricante en los puntos de periodo.
- ✓ Inspeccionar nivel de cajas y agregar según el caso
- ✓ Inspeccionar el funcionamiento de los sistemas de lubricación.

El área de mantenimiento dispone de un plan de lubricación, en donde se consideraron:

- Los puntos de lubricación
- Seguir las recomendaciones del proveedor y de los lubricantes
- La frecuencia de la ruta: diaria, semanal, mensual y anual
- Especificar las normas de recambio
- Programar, controlar la ejecución y resultados de todo lo establecido.

Los formatos, con las rutas de lubricación, deben ser entregados al mecánico-lubricador del Área de mantenimiento, el cual se encarga de ejecutar la lubricación en los equipos de acuerdo a la frecuencia establecida.

A continuación se muestra el formato de lubricación mensual.

Figura 55. Ruta de lubricación

INDUPALMA INDUSTRIAS PALMARIAS S.A.		RUTA DE LUBRICACIÓN				UNO-IND-FO-008
FECHA:		Revisión: 02		Fecha: 30/01/2008		
EQUIPO	PARTE DEL EQUIPO	LUBRICANTE	FRECUENCIA	CANTIDAD GLS	OK	OBSERVACIONES
Tambor Limpiador De Pepa	Rodamiento de las puntas	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador De Pepa	Acople renold	Retinax EP 2 (todo usd)	Mensual No. 1			
DESFRUTACIÓN						
Monorriel Demag 1	Cable de elevación	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Monorriel Demag 2	Cable de elevación	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Variador Tolda 1	Rodamientos del reductor	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Variador Tolda 2	Rodamientos del reductor	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Tambor Desfrutador 1	Rodamientos del reductor	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Tambor Desfrutador 2	Rodamientos tambor	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Tambor Desfrutador 1	Rodamientos del reductor	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Tambor Desfrutador 2	Rodamientos tambor	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Sinfin Bajo Desfrutador 1	Rodamientos reductor	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Sinfin Bajo Desfrutador 2	Rodamientos del sinfin	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Sinfin Bajo Desfrutador 2	Rodamientos del sinfin	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador Transversal Fruto 1	Rodamientos reductor	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador Transversal Fruto 2	Rodamientos reductor	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador Distribuidor De Fruto 1	Rodamientos eje central	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador Distribuidor De Fruto 1	Acople renold	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador Distribuidor De Fruto 2	Rodamientos eje central	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador Distribuidor De Fruto 2	Rodamientos reductor	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador Distribuidor De Fruto 2	Acople renold	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Elevador De Fruto 1	Rodamientos	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Elevador De Fruto 2	Rodamientos	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador De Tusa 1	Rodamientos	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador De Tusa 2	Rodamientos	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador De Tusa 3	Rodamientos	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
PRENSADO Y DIGESTIÓN						
Transportador de Retorno	Rodamientos soporte	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Transportador de Retorno	Rodamientos reductor	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
CLARIFICACIÓN						
Tamiz De Aceite Crudo 1	Rodamientos motor eléctrico	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
Tamiz De Aceite Crudo 2	Rodamientos motor eléctrico	Aeroshell No. 5	Mensual No. 1			
TRABAJOS ADICIONALES						

Realizado por
FIRMA

Aprobado por auxiliar o asistente de mantenimiento
Firma

Fuente: Indupalma Ltda.

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo se desarrolló en el Departamento Industrial en Indupalma Ltda., generando las siguientes conclusiones:

- Se realizó un diagnóstico de los equipos, determinando su estado actual de mantenimiento, logrando identificar y sugerir actividades para mejorar su confiabilidad y desempeño.
- Se efectuó el análisis de criticidad, permitiendo revelar las tendencias de mantenimiento indicadas para cada equipo con el fin de obtener un nuevo criterio para la planeación del mantenimiento.
- Se buscó mejorar el plan de mantenimiento que permita disminuir las paradas por fallas no detectadas o repetitivas, se incluyeron criterios de tipo correctivo, preventivo y predictivo.
- Se propusieron mejoras en la documentación técnica existente, que permitan adaptarse a los reportes generados por Impact Xp y alinearlos con el proceso de producción.
- Se crearon y desarrollaron rutas de inspección para los equipos críticos, diseñando formatos adecuados, que sirven para analizar, comprobar y verificar el estado de cada equipo, garantizando una adecuada implementación del mantenimiento.
- Se sugirió que la planeación y programación de las actividades generadas del software se complemente con un análisis basado en la prioridad del equipo y su tendencia de mantenimiento, aspectos que han sido debidamente identificados en este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

BOHORQUEZ B., Oscar R., Sistema de información para el control de mantenimiento de la planta extractora de aceite de palma Agroince Ltda. Cia.C.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander . Facultad de Ingenierías Fisico-mecanicas. 2004. 145p.

DUFFUAA Salih O., RAOUF A. y DIXON Campbell Jhon. Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control, Primera Edición México: Limusa Wiley S.A., Pr, 2000

GARCIA GARRIDO, Santiago. Ingeniería de Mantenimiento, Chile: Renovetec, 2009. 56p.

GONZÁLEZ B. Carlos R., Conferencia ingeniería de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2001.

PRANDO, Raúl. Manual de Gestión de Mantenimiento a la Medida. Editorial Piedra Santa S.A, Primera Edición. Guatemala, 1996.

VÁSQUEZ Y RODRIGUEZ LTDA. Mantenimiento y Montaje Electromecánico industrial. Informe técnico de análisis predictivo. Bucaramanga: 2009

WAMBECK, Noel. Sinopsis del proceso de la palma de aceite. Primera Edición. Colombia: Traducida al español por Guillermo Bernal, 2005.