



UNIVERSIDAD EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"
VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
COORDINACIÓN DE POSTGRADO
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

**DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL
MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN PARA LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS
DE LA LÍNEA DECAPADO 2 DE SIDOR**

ING. LINDA CARIBAY HERNÁNDEZ RAMÍREZ

PUERTO ORDAZ JULIO DE 2011

**DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL
MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN PARA LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS
DE LA LÍNEA DECAPADO 2 DE SIDOR**



UNIVERSIDAD EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"
VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
COORDINACIÓN DE POSTGRADO
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

**DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL
MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN PARA LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS
DE LA LÍNEA DECAPADO 2 DE SIDOR**

ING. LINDA CARIBAY HERNÁNDEZ RAMÍREZ

Trabajo de Grado presentado ante la Dirección de Investigación y Postgrado del Vicerrectorado Puerto Ordaz como requisito para optar al Título Académico de Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

TUTOR: ING. JAIME CANTARIÑO M. Sc.

PUERTO ORDAZ JULIO DE 2011

Hernández Ramírez, Linda Caribay.

Desarrollo de un plan de mantenimiento basado en el mantenimiento por condición para los equipos rotativos críticos de la línea decapado 2 de SIDOR (2011).

96 Pág.

Trabajo de Grado

Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre".

Vicerrectorado Puerto Ordaz. Dirección de Investigación y Postgrado.

Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Tutor: Ing. Jaime Cantariño. M. Sc.

Bibliografía Pág. 91

1) Plan de Mantenimiento. 2) Mantenimiento por condición 3) Decapado 2. 4) Equipos rotativos. 5) Confiabilidad. 6) Técnicas de control. 7) SIDOR.



UNIVERSIDAD EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"
VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
COORDINACIÓN DE POSTGRADO
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

ACTA DE EVALUACIÓN

En mi carácter de tutor del Trabajo de Grado presentado por el **Ing. Linda Caribay Hernández Ramírez**, titular de la cédula de identidad número: **14.435.325**, para optar al grado de académico de: **Especialista en Gerencia de Mantenimiento**. Titulado: **DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN PARA LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS DE LA LÍNEA DECAPADO 2 DE SIDOR C.A**, considero que dicho trabajo reúne los requerimientos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación por parte del jurado examinador.

En la ciudad de Puerto Ordaz a los doce días del mes de abril del dos mil once.

Ing. JAIME CANTARIÑO. M.Sc
C.I. 10.810.927



UNIVERSIDAD EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”
VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
COORDINACIÓN DE POSTGRADO
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

ACTA DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, miembros del Jurado Evaluador designados por la Comisión de Estudios de Postgrado de la Dirección de Investigación y Postgrado de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José De Sucre”, Vice-Rectorado Puerto Ordaz, para examinar el Trabajo de Grado presentado por el **Ing. Linda Caribay Hernández Ramírez**, titular de la cédula de identidad número: **14.435.325**, Titulado: **DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN PARA LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS DE LA LÍNEA DECAPADO 2 DE SIDOR**, el cual es presentado para optar al grado académico de **Especialista en Gerencia de Mantenimiento**, consideramos que dicho trabajo cumple con los requisitos exigidos para tal efecto y por lo tanto lo declaramos: **APROBADO**.

Ing. IVAN TURMERO. M.Sc

Ing. JAIME CANTARIÑO. M.Sc

Ing. ÁNGEL DUARTE Esp.

DEDICATORIA

A Dios.

A Nancy, mi madre.

A Tulio, Karim y Carlos, mis
queridos hermanos.

A Edgar, mi esposo.

A mi hijo Edgar Javier.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la fortaleza necesaria para llevar acaba este nuevo reto.

Al personal de la línea Decapado 2 de SIDOR, por la colaboración prestada al momento de la recaudación de información.

A la Dirección de Postgrado, Investigación y Desarrollo de la UNEXPO, por formarme profesionalmente.

A la Lic. M.Sc. Rosa Rojas de Narváez por transferirme sus conocimientos y sugerirme las recomendaciones necesarias para el desarrollo del presente trabajo.

A mis compañeros de ID Ingeniería por el apoyo brindado.

A mi madre y hermanos, por apoyarme y brindarme aliento en todo momento.

A mi esposo por estar conmigo en todo momento.

Hernández, Linda. (2009). **Desarrollo de un plan de mantenimiento basado en el mantenimiento por condición para los equipos rotativos críticos de la línea decapado 2 de SIDOR.** Trabajo de Grado. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Vice-Rectorado Puerto Ordaz. Dirección de Investigación y Postgrado. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Tutor: Ing. Jaime Cantariño M. Sc.

RESUMEN

En el presente Trabajo de Grado se presenta el estudio que tuvo como propósito el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en el mantenimiento por condición para los equipos rotativos críticos de la línea Decapado 2 en SIDOR. Esta línea no contaba con un plan de mantenimiento que le permitiera predecir las fallas antes de que ocurrieran, para así intervenir los equipos a tiempo evitando graves consecuencias, que afectaran su proceso productivo. El estudio propuesto en este trabajo fue desarrollado como una investigación no experimental de tipo aplicado, ya que se planteo una alternativa de solución al problema que presenta la empresa. Para ello el trabajo abarco las siguientes acciones: a) Se revisaron las referencias bibliográficas y documentos técnicos referidos al mantenimiento por condición, b) Se recolecto la información técnica de los equipos principales de la línea a través de los manuales de operación y mantenimiento, c) Se realizo un croquis de la ubicación e identificación de los equipos principales de la línea, con un levantamiento realizado en el área, d) Se definieron las funciones de los equipos y parámetros de funcionamiento deseados, plasmándolos en la matriz de variables, e) Se realizo el análisis de criticidad a los equipo principales de la línea, obteniendo dos equipo críticos para la línea, los cuales son: el cabrestante de entrada y cabrestante de salida, f) Se realizo el análisis de falla a través del FMECA y se identificaron las fallas más importantes para cada uno de los equipos críticos, g) Con las fallas encontradas se realizo el árbol de fallas, cuantificando los eventos y hallando los mas resaltantes, h) Se seleccionaron las acciones de mantenimiento para cada equipo, así como los puntos de medición mas adecuados para cada equipo y la frecuencia de monitoreo, para desarrollar el plan de mantenimiento, i) Se obtuvieron las curvas de comportamiento de las variables correspondientes a las acciones de mantenimiento seleccionadas por medio de la descarga y análisis de la información recolectada en el software Labsys MTI. El presente estudio se enmarco dentro de la línea de investigación de Mantenimiento basado en la Condición, pues el plan de mantenimiento tuvo como finalidad aplicar técnicas de control a los equipos críticos de la línea, para así controlar sus condiciones evitando fallas graves, garantizando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. **Palabras Claves:** 1) Plan de Mantenimiento. 2) Mantenimiento por condición 3) Decapado 2. 4) Equipos rotativos. 5) Confiabilidad. 6) Técnicas de control. 7) SIDOR.

INDICE

CAPÍTULO		Página
	ACTA DE EVALUACIÓN.....	v
	ACTA DE APROBACIÓN.....	vi
	DEDICATORIA.....	vii
	AGRADECIMIENTOS.....	viii
	RESUMEN.....	ix
	INTRODUCCIÓN.....	1
1	EL PROBLEMA.....	3
	1.-Objetivos.....	9
	1.1.- Objetivo General.....	9
	1.2.- Objetivos Específicos.....	9
2	MARCO TEÓRICO.....	11
	1.- Revisión de Literatura.....	11
	2.- Bases Teóricas.....	15
	2.1.- Mantenimiento.....	15
	2.1.1 Definición de Mantenimiento.....	15
	2.1.2 Funciones Básicas del Mantenimiento.....	17
	2.1.3 El mantenimiento basado por condición (Predictivo)...	18
	2.1.4 Definición del mantenimiento basado en la condición...	19
	2.2.- El Mantenimiento por Condición en SIDOR....	28
	2.3.- El Mantenimiento Predictivo en Taller Central.....	29
	2.4.- El Mantenimiento Predictivo en Decapado 2.....	29
	2.5.- Modo de Falla y Análisis de Efecto.....	31
	2.5.1.- Objetivos de FMECA.....	31
	2.5.2.- Generación del FMECA.....	31
	2.6.- Árbol de Falla.....	34
	2.7.- Análisis de Criticidad.....	35
	3.- Preguntas de Investigación.....	35

3	DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
	1.- Tipo de estudio.....	37
	2.- Muestra.....	38
	3.- Instrumentos.....	39
	3.1.- Indicadores de Gestión.....	39
	3.2 Charlas con el Grupo Técnico de la Línea Decapado 2...	39
	3.3.- Datos Técnicos de cada equipo.....	39
	3.4.- Red Intranet.....	40
	3.5.- Softwares.....	40
	3.6.- Biblioteca, Internet y otras Fuentes.....	40
	4.-Procedimientos.....	40
4	RESULTADOS	42
	1.- Presentación y Descripción de los resultados.....	42
	1.1.- Ubicación e Identificación de los equipos principales de la línea Decapado 2.....	42
	1.2.- Funciones de los Equipos	46
	1.3.- Matriz de Variables.....	47
	1.4.- Analisis de Criticidad.....	52
	1.5.- FMECA.....	57
	1.6.- Árbol de Falla.....	59
	1.7.- Curvas de Comportamiento.....	67
	2.- Discusión de Resultados.....	69
5	PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN PARA LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS DE LA LÍNEA DECAPADO 2 DE SIDOR.....	71
	CONCLUSIONES.....	79
	RECOMENDACIONES.....	80
	BIBLIOGRAFÍA.....	81

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

Figuras		Página
1	Etapas de implementación del mantenimiento por condición.	22
Gráficos		
1	Histórico de producción de la línea Decapado 2 (2005-2006).....	5
2	Histórico de producción de la línea Decapado 2 (2006-2007).....	5
3	Histórico de producción de la línea Decapado 2.....	6
4	Utilización Disponible de la línea de producción decapado 2 desde Febrero 2006 a Febrero 2007.....	6
5	Curva de comportamiento en el avance del mantenimiento por condición.....	23
6	Monitoreo de tendencia.....	24
7	Indicadores Vibratorios.....	26
8	Layout Decapado 2.....	44
9	Secuencia de Eventos de Falla Armario Eléctrico.....	60
10	Secuencia de Eventos de Falla del Reductor.....	61
11	Secuencia de Eventos de Falla Obstrucción de Línea.....	63
12	Probabilidad del CMC Armario Eléctrico.....	65
13	Probabilidad del CMC Reductor.....	66
14	Tendencia Reductor Eje de Entrada.....	68
15	Tendencia Reductor Planetario.....	68
Tablas		
1	Métodos de Detección.....	32
2	Frecuencia de ocurrencia.....	33
3	Severidad del Efecto.....	33
4	Simbología Árbol de Fala.....	34
5	Ubicación técnica Equipos Principales Línea Decapado 2.....	45
6	Matriz de Variables Equipos Principales Línea Decapado2.....	48
7	Equipos seleccionados para el análisis de criticidad.....	53

8	Formato de encuesta del análisis de criticidad.....	54
9	Ponderación de los parámetros del análisis de criticidad.....	55
10	Resultado análisis de criticidad Cabrestante de Entrada.....	56
11	Resultado Analisis de Criticidad.....	56
12	FMECA Cabrestante de Entrada.....	58
13	Cuantificación Árbol de Falla Armario Eléctrico.....	64
14	Cuantificación Árbol de Falla Reductor.....	65
15	Cuantificación Árbol de Falla Obstrucción de líneas.....	66
16	Eventos más impactantes del Cabrestante de Entrada.....	67
17	Estándar de Inspección Cabrestante de Entrada.....	72
18	Guía de Inspección Trimestral.....	73
19	Guía de Inspección Mensual.....	74
20	Guía de Inspección Semanal.....	75
21	Guía de Inspección Diaria.....	76
22	Chequeo Trimestral.....	76
23	Chequeo Mensual.....	77
24	Chequeo Diario.....	77
25	Chequeo Semanal.....	78

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es de gran importancia en la industria moderna la implementación de estrategias de mantenimiento que permitan aumentar la vida útil de las maquinas, incrementando su confiabilidad y disponibilidad, así como también la productividad de la planta, a través del uso de técnicas modernas en la detección a tiempo de las fallas en maquinas criticas.

Con la elaboración de este trabajo se realizo un estudio que permitió desarrollar un plan de mantenimiento basado en el mantenimiento por condición para los equipos rotativos críticos de la línea Decapado 2 de SIDOR.

La realización de este trabajo representó un paso importante para el departamento de mantenimiento de la línea Decapado 2 de SIDOR, ya que se desarrollo un plan de mantenimiento para los equipos rotativos críticos, el cual mejorara la confiabilidad y disponibilidad de los mismos, incrementando los niveles de producción y disminuyendo los costos de mantenimiento.

En SIDOR, específicamente en la línea Decapado 2, surgió la necesidad de implementar un plan de mantenimiento que permitiera planear y controlar mediante las técnicas de control adecuadas, el estado de cada uno de los equipos principales y sus componentes, para así asegurar las metas de producción propuestas cada mes al menor costo.

Para llevar a cabo este proyecto se utilizó el método del mantenimiento por condición, el cual permitió asignar las técnicas de control adecuadas a cada uno de los equipos rotativos críticos de la línea Decapado 2, para dar inicio al seguimiento de las variables que ayudaran en la detección de las fallas antes de que ocurran, y planificar junto con el personal de mantenimiento las intervenciones en el momento justo, evitando daños graves en los equipos.

El estudio realizado en este trabajo se concretó en evaluar los equipos rotativos principales de la línea Decapado 2, para hallar los equipos críticos y limitar el plan de mantenimiento a estos.

Con la realización de este estudio el Departamento de Mantenimiento podrá continuar aplicando esta evaluación a los equipos rotativos de las diferentes líneas de producción y así mejorar la confiabilidad y disponibilidad de estos.

El presente trabajo está estructurado por el Capítulo 1 en donde se realiza el planteamiento de problema y sus motivaciones. Seguidamente se presenta el Capítulo 2 en el cual se detallan los antecedentes, bases teóricas y sistema de preguntas de investigación que serán respondidas con la investigación propuesta. En el Capítulo 3 se presenta el diseño metodológico, en el cual se describe el procedimiento de investigación, tipo de estudio, así como la población y muestra del mismo. En el Capítulo 4 se presenta la evaluación llevada a cabo sobre los equipos principales, donde se definen las acciones de control, seguidamente en el Capítulo 5 se desarrolla el plan de mantenimiento para los equipos críticos, tomando en cuenta las acciones de control definidas en el capítulo anterior. Seguidamente se presentan las conclusiones y recomendaciones y finalmente la bibliografía.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

En la actualidad es de gran importancia en la industria moderna la implementación de estrategias de mantenimiento que permitan aumentar la vida útil de las maquinas, incrementando su confiabilidad y disponibilidad, así como también la productividad de la planta. Es importante destacar que de un buen mantenimiento no solo depende el funcionamiento eficiente de las instalaciones, a demás hay que llevarlo a cabo lo más riguroso posible para alcanzar el control de la vida útil de las instalaciones sin incrementar los costos destinados a mantenerlas.

Para llevar a acabo el mejor mantenimiento se analizan las ventajas y desventajas de cada uno para así escoger el que permita mantener un óptimo proceso productivo, con los menores costos, siempre dentro del marco de la seguridad y el medio ambiente.

Entre los tipos de mantenimiento mas utilizados se tienen el correctivo, preventivo y predictivo. La aplicación del primero ya ha quedado atrás, las empresas son concientes de que esperar que la falla ocurra para intervenir es provocar costos excesivamente elevados, por esto se plantearon la necesidad de utilizar el mantenimiento preventivo, el cual permite la intervención de los equipos en tiempos determinados y así disminuir la ocurrencia de fallas, sin embargo no es el método más ideal para obtener una máxima seguridad y confiabilidad de la planta.

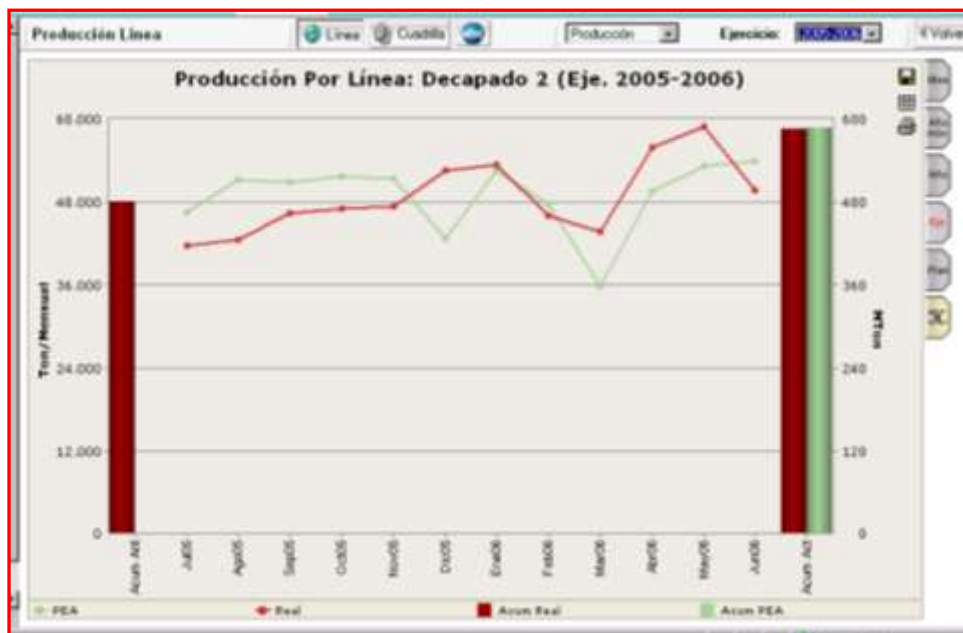
En cuanto al mantenimiento predictivo, su implementación ha aumentado en la mayoría de las empresas trabajando en paralelo con el preventivo, ya que permite detectar fallas antes de que tenga consecuencias más graves, a través de la evolución temporal de ciertos parámetros, que permite la planificación de las intervenciones y conocer con exactitud los trabajos de mantenimiento a realizar, teniendo como ventaja reducir los tiempos de parada, optimizar la gestión del personal de mantenimiento; facilita el análisis de averías y permite el análisis estadístico del sistema y como punto importante permite disminuir los costos de reparación.

La empresa siderurgica SIDOR, es una empresa básica que fabrica acero para la importación y exportación, contando con varios tipos de proceso que originan productos largos (barras y alambros) y planos (laminas en caliente, laminas en frío y recubiertos) que en su afán de mantener la calidad de sus productos y en concordancia con sus políticas de calidad, estableció que uno de los mantenimientos aplicados a los equipos de cada proceso sea el mantenimiento por condición, para así mantener la disponibilidad y confiabilidad sin incrementar la relación costo-eficacia cumpliendo con las metas establecidas de producción.

La Gerencia de Laminación en Caliente específicamente en la línea Decapado 2, cuya función es eliminar el óxido de laminación de las laminas, provenientes del laminador en caliente, haciéndolas pasar de manera continua por tanques con ácido clorhídrico, bajo condiciones controladas de concentración y temperatura; se vio afectada por la ocurrencia de fallas imprevistas como alta desalineación, desbalanceo, defectos de acoplamiento, fallas de rodamientos, desgaste de engranajes, entre otros; de sus equipos principales, que provocaron el incremento de las paradas no programadas.

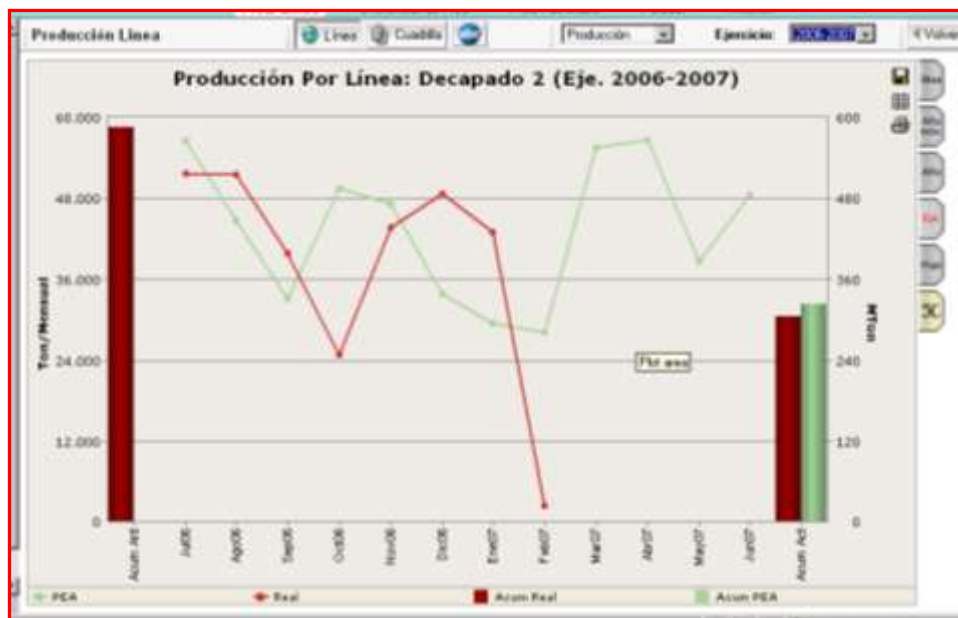
Esto afectó las metas de producción, ya que la línea no pudo cumplir con los niveles de exigencia de la empresa, como se puede observar en la grafica que se presenta a continuación. Esta representa un histórico de los niveles de producción del 2005 al 2008, que aunque hay meses que la producción real (línea roja) de la línea

Decapado 2 ha superado la producción planificada (línea verde), la mayoría de las veces no lo ha conseguido, observándose que la producción real se encuentra por debajo de la producción planificada. (Ver gráfico 1,2 y 3, respectivamente).



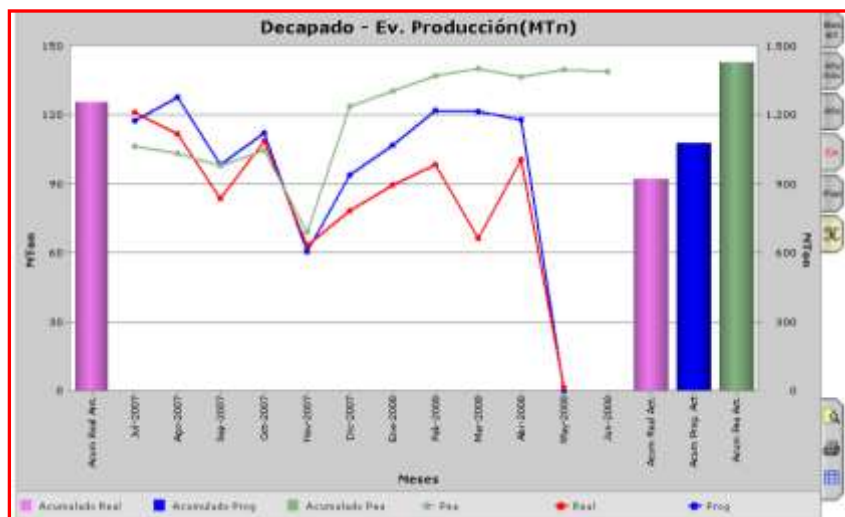
Gráfica 1: Histórico de producción de la línea Decapado 2

Fuente: Tomado de **INTRANET-SIDOR** (2008). ⁽¹⁾



Gráfica 2: Histórico de producción de la línea Decapado 2

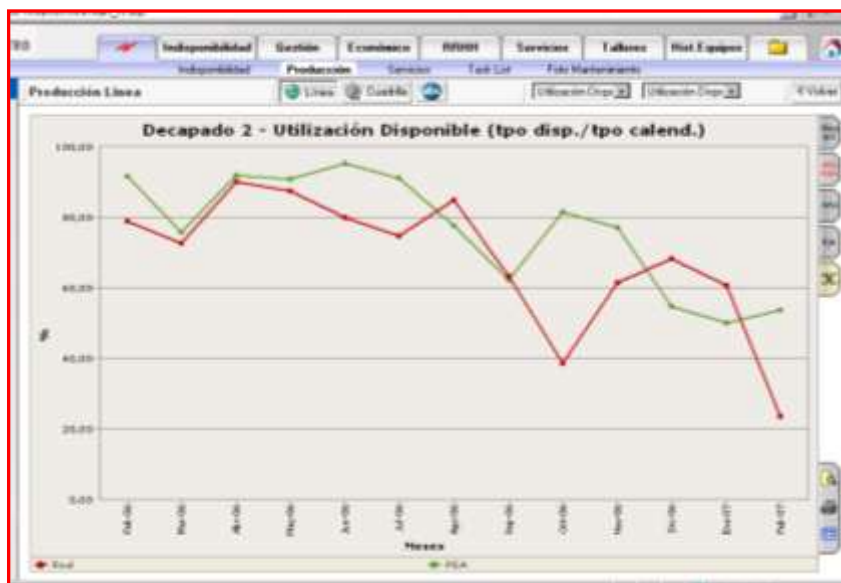
Fuente: Tomado de **INTRANET-SIDOR** (2008). ⁽²⁾



Gráfica 3: Histórico de producción de la línea Decapado 2

Fuente: Tomado de **INTRANET-SIDOR** (2008). ⁽³⁾

Así mismo la utilización disponible de la línea, también se veía afectada por las paradas repentinas de la línea, arrojando resultados nada favorables, como se puede observar en el grafico que se presenta a continuación, donde la utilización real (línea roja) solo en los meses de Agosto 2006, Diciembre 2006 y Enero 2007 se alcanzaron cifras favorables, el resto de los meses se pueden observar que se encuentran por debajo de las metas estimadas (línea verde), por lo tanto la tendencia indica el decrecimiento que ha transcurriendo en la disponibilidad de la línea. (Ver grafico 4).



Gráfica 4: Utilización Disponible de la línea de producción Decapado 2 desde Febrero 2006 a Febrero 2007.

Fuente: Tomado de **INTRANET-SIDOR** (2008). ⁽⁴⁾

Otro factor importante que afectan las paradas no programadas son los costos de mantenimiento, los cuales se incrementan, ya que se debe gastar en mano de obra contratada, materiales, repuestos que no se encuentran en stock y aumento de los consumos de lubricante. En el último trimestre Julio-Septiembre los costos de reparación aumentaron en un 20 % debido a la cantidad de paradas no programadas, esta información fue dada por el grupo técnico de mantenimiento de la línea.

Otro punto que se ve afectado por estas paradas es la calidad del producto ya que la lamina al pasar un tiempo prolongado sumergida en el ácido se forman manchas de coloración oscuras de longitud de 8 a 12 metros; si una lámina posee mas de dos manchas es descartada y pasada a material de desecho.

Por esto el presente trabajo permitió dar respuesta al siguiente planteamiento problemático: La alta incidencia de fallas imprevistas en los equipos principales de la línea Decapado 2 de SIDOR, trae como consecuencia el aumento en los tiempos de parada, sobre todo en las paradas no programadas de mantenimiento, afectando el proceso productivo de la línea, así como también provocando el incremento de los costos de reparación, perdidas de producción y material. Por cada uno de estos factores se planteo la necesidad de desarrollar un plan de mantenimiento basado en mantenimiento por condición para los equipos rotativos críticos de la línea Decapado 2 de SIDOR, que permite asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos para así reducir los tiempos de parada y optimizar el proceso productivo.

Como se expuso anteriormente el plan de mantenimiento se desarrolló en la Gerencia de Laminación en Caliente a los equipos rotativos críticos de la línea Decapado 2 de SIDOR, los cuales por su alta criticidad provocan interrupciones de la línea al momento de ocurrir una falla.

El plan de mantenimiento fue diseñado bajo el método de mantenimiento por condición, el cual se refiere a la implementación de técnicas de control que permiten la

evaluación de los equipos detectando las fallas antes de que ocurran, permitiendo así la planificación de las intervenciones evitando daños graves en los mismos.

El estudio propuesto en este trabajo, fue desarrollado como una investigación no experimental del tipo aplicada o tecnológica, ya que permite a la línea Decapado 2 contar con un plan de mantenimiento basado en mantenimiento por condición para sus equipos críticos, para así determinar su condición real, permitiendo llevar un monitoreo constante y eliminar la ocurrencia de las mismas fallas y de nuevas, evitando graves consecuencias. Por ello se aplicó la metodología del mantenimiento basado por condición, donde se seleccionaron los equipos críticos de la línea Decapado 2, donde se realizó a cada uno de ellos el análisis de fallas y cuantificación del árbol de falla, encontrando así los eventos principales que provocaban las fallas mas importantes y se definieron las acciones de mantenimientos acordes a cada evento encontrado.

La muestra u objeto de estudio fueron los equipos principales de línea, los cuales son: 2 desenrolladores, 2 enrolladores, 13 bridas de tensión, 2 trozadores de chatarra, 1 cabrestante de entrada y 1 cabrestante de salida. Estando los desenrolladores y enrolladores compuestos por un motor y una caja reductora, de igual forma se encuentran compuestas las bridas de tensión, trozadores de chatarra y cabrestantes, sumándole los rodillos de trabajo.

Esta investigación fue de gran importancia, ya que al implementar un plan de mantenimiento basado en mantenimiento por condición a los equipos críticos, se elimina la ocurrencia de fallas imprevistas debido al monitoreo constante de los equipos que permite detectar las fallas a tiempo, controlando los tiempos de parada debido a la planificación previa de las mismas y al conocimiento de las tareas específicas de mantenimiento a ejecutar a cada equipo, así como también evita el incremento en los costos de producción y reparación, pérdida de material y la disminución en la calidad de los productos, dándole así una mayor confiabilidad y disponibilidad a estos, permitiendo la optimización del proceso productivo.

1. OBJETIVOS

El trabajo propuesto tuvo como finalidad los siguientes objetivos:

1.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un plan de mantenimiento basado en mantenimiento por condición a los equipos rotativos críticos de la línea Decapado 2 de SIDOR, que permita reducir la frecuencia de fallas para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de estos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.1. Revisar las referencias bibliográficas y documentación teórica del mantenimiento por condición.

1.2.2. Recolectar información técnica acerca de los equipos principales de la línea a través de los manuales de operación y mantenimiento.

1.2.3. Realizar el croquis de la ubicación e identificación de los equipos principales de la línea.

1.2.4. Definir las funciones de los equipos principales y parámetros de funcionamiento deseados.

1.2.5. Realizar el análisis de criticidad para evaluar los equipos principales de la línea y así identificar los equipos críticos.

1.2.6. Realizar un análisis de falla a través del FMECA, para identificar las fallas más importantes de los equipos seleccionados como críticos.

1.2.7. Realizar el árbol de fallas cuantificando los eventos para identificar los más

resaltantes que provocan las fallas más importantes encontradas a través del FMECA.

1.2.8. Seleccionar las acciones de mantenimiento que se aplicaran en cada caso, determinando los puntos de medición mas adecuados para cada equipo y la frecuencia de monitoreo, en base a las acciones seleccionadas.

1.2.9. Obtener las curvas de comportamiento de las variables correspondientes a las acciones de mantenimiento seleccionadas, por medio de la descarga y análisis de la información recolectada en el software Labsys MTI.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se exponen la revisión de literatura, las bases teóricas y las preguntas de investigación que permitieron desarrollar un plan de mantenimiento basado en mantenimiento por condición a los equipos principales de la línea Decapado 2 de SIDOR.

1. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La finalidad del mantenimiento es conservar una planta industrial con el equipo, los servicios y las instalaciones en condiciones de cumplir con la función para la cual fueron proyectados con la capacidad y la calidad especificadas, pudiendo ser utilizados en condiciones de seguridad y economía de acuerdo a un nivel de ocupación y a un programa de usos definidos por los requerimientos de producción.

En SIDOR luego de la privatización por el consorcio Amazonia en el año 1998, se comenzaron a desarrollar cambios en la forma como se venía aplicando el mantenimiento de la empresa, por lo cual se reestructuro todo el organigrama de mantenimiento, captando nuevo personal, formando al personal existente, formando nuevas unidades de mantenimiento en todas las áreas y trayendo personal altamente capacitado del exterior para desarrollar el cambio.

En el año 1999 se comenzó a plantear el proyecto de formar un Departamento de Mantenimiento Predictivo que sea centralizado y concentre toda la información de los equipos de toda la planta. En el año 2000 se genera la necesidad de crear un departamento que se encargará de controlar y monitorear de manera continua los diferentes equipos que representaban cada una de las líneas de producción de toda la siderúrgica.

De esta manera **FERNÁNDEZ** (2003)⁽⁴⁾, señala la necesidad de crear un departamento de predictivo en su publicación el modelo organizativo de mantenimiento en SIDOR: “Al momento de la aplicación del nuevo modelo mantenimiento en SIDOR C.A., la situación era la falta de un área central de predictivo y los pocos diagnósticos que se llevaban a cabo, eran a través de la contratación del servicio o por la iniciativa de algunas áreas las cuales no habían logrado un alto nivel de desarrollo”.

La falta de datos y orientación preventiva que permitieran definir y establecer prioridades en la planificación y ejecución de equipos en los diferentes grupos técnicos, la falta de información y capacitación del personal, ausencia de inspección de equipos con bases y datos que permitan definir las fallas reales y generar un plan de acción, la falta de visión de la condición real operativa de los equipos de producción, consumo descontrolados de recursos como rodamientos, lubricante, mano de obra contratada y propia, el alto grado de reparaciones por mantenimiento preventivo que generaban un alto costo, falta de herramientas que permitieran facilitar la programación efectiva de las paradas de mantenimiento y la verificación de los equipos en las puestas en marcha. La gran cantidad de equipos que eran intervenidos por problemas en los rodamientos, así como también la presencia de fallas simples y repetitivas como desalineación, desbalanceo, grietas, fisuras, etc., que con una inspección simple no pueden ser detectadas. Todo lo anteriormente expuesto son las principales causas que dieron cabida a la creación y formación del departamento en forma centralizada.

Ante esta situación se crea el departamento de predictivo el cual genera a su vez un programa de mantenimiento basado en la condición, el cual se implementa en todos

los equipos críticos y esenciales para la producción, como también a los equipos que hayan presentado un historial de fallas elevadas, a través de la implementación de técnicas de control que permitan dar a conocer su estado y realizar las intervenciones solo cuando sean necesarias.

FERNÁNDEZ (2003) ⁽⁵⁾ en su publicación el modelo organizativo de mantenimiento en SIDOR señala que el departamento de mantenimiento predictivo se puede describir como el área de soporte de los grupos técnicos de la planta, que se especializa en el diagnóstico de la condición de los equipos, a través de la aplicación de tecnologías complejas. El servicio de mantenimiento predictivo comienza con el acuerdo entre los mantenimientos asignados y predictivo en cuales son los equipos y variables a controlar. Cabe destacar que es política del mantenimiento de SIDOR C.A, que los equipos bajo predictivo solo sean intervenidos cuando el diagnóstico así lo indique y no en función de otros criterios.

Luego de la aplicación de este programa de mantenimiento predictivo los indicadores de gestión referidos a la evolución de la condición, cumplimiento, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos fueron arrojando cifras favorables para cada una de las áreas manejadas por predictivo.

El departamento de mantenimiento predictivo central se centra en atacar los problemas crónicos que disminuyen la vida útil de los equipos y aceleran las fallas de sus componentes, permitiendo así una mejor planificación de los trabajos a realizar en las paradas, logrando que sean más efectivas garantizando una buena reparación y un arranque de los equipos en condiciones normales optimizando el uso de partes y reduciendo los costos y stocks de repuestos.

En 2004 **CASTILLO** ⁽⁶⁾ desarrolló un programa de mantenimiento predictivo para el sistema de frenos de vagones góndolas basado en las condiciones operativas de las zapatas de freno, para mejorar los procedimientos existentes y fortalecer los

conocimientos técnicos, para dar paso en un mayor rendimiento de las partes, a través de un control del cambio, desgaste y deterioro de las zapatas.

GARCÍA (2003) ⁽⁷⁾ diseñó un plan de mantenimiento predictivo a los equipos de bombeo de un sistema contra incendio de la planta de distribución de combustible Puerto Ordaz, utilizando metodología del RCM, con el que logro establecer actividades de mantenimiento, enfocadas a la frecuencia optima de inspección al considerar la criticidad de la maquina, la disponibilidad, el diseño, el funcionamiento y la estadística de fallas.

CARVAJAL (2005) ⁽⁸⁾ desarrolló e implementó un sistema de mantenimiento predictivo para los rodamientos de bajas vueltas en SIDOR C.A, en el cual logro medir la holgura de inclinación, la reducción axial, así mismo realizo el análisis de lubricante y vibración mecánica, estableciendo con base en estos análisis el plan de mantenimiento predictivo.

Al igual que otros estudios relacionados con planes de mantenimiento, este estudio permitirá que a través de su aplicación se logre conservar la vida útil de los equipos e instalaciones para garantizar el proceso productivo de la línea Decapado 2. Sin embargo el valor agregado que tiene el presente trabajo es que se entregara un documento de gran importancia en el departamento de mantenimiento de la línea, que podar ser utilizado durante la aplicación del mantenimiento en los diferentes componentes y sistemas más críticos.

2 BASES TEÓRICAS

2.1 MANTENIMIENTO

El mantenimiento de los equipos de una compañía, hay que entenderlo como un negocio que debe estar en línea con el negocio global de la empresa. Por lo tanto, la función del servicio debe ser, la de evitar las averías y resolver los problemas de prestación a los equipos al menor costo posible, garantizando condiciones de calidad y seguridad.

En consecuencia no sólo se debe hacer que las máquinas no se rompan (condición necesaria, pero no suficiente) sino que, se debe conseguir de las mismas un funcionamiento óptimo, (condición suficiente). En este sentido, hay que comprender y tener conciencia que, la realización del mantenimiento adecuado permitirá que haya una mayor disponibilidad de los equipos, menos fallas, menos paradas de emergencia y disminución de los costos. Por lo tanto, de la ejecución de un buen mantenimiento, dependerá una mayor productividad y el cumplimiento al cliente en tiempo, forma y en consecuencia una mayor rentabilidad para la empresa.

En la actualidad el mantenimiento está destinado a ser el pilar fundamental de toda empresa que considere ser competitiva. Es por ello que el mantenimiento desarrolla técnicas y métodos para la detección, control y ejecución de actividades que garanticen el buen desempeño de la maquinaria.

2.1.1 Definición de Mantenimiento

El mantenimiento produce un bien real que puede resumirse en capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad. El mantenimiento fue un problema que surgió al querer producir continuamente, de ahí fue visto como un mal necesario cuya finalidad era reparar desperfectos en forma rápida y barata.

De un buen mantenimiento depende el funcionamiento eficiente de las instalaciones, así como también el control del ciclo de vida de estas sin disparar los costos destinados a mantenerlas. Entre los objetivos principales del mantenimiento están: optimizar la disponibilidad de los equipos, disminución de los costos de mantenimiento, optimización del recurso humano e incremento de la vida útil de los equipos.

Anteriormente el mantenimiento se definía como la acción que se realizaba para preservar el activo físico, prevenir las fallas y así optimizar la disponibilidad de la planta al mínimo coste.

Sin embargo en la actualidad el mantenimiento afirma el continuo ejercicio de las funciones de un activo físico, en relación con ello **AMENDOLA** (2002) señala lo siguiente: **“Mantenimiento es asegurar que todo elemento físico continúe desempeñado las funciones deseadas”.**⁽⁹⁾

Por esto el mantenimiento tiene como función principal preservar los activos de una empresa y que al realizarlo de manera rutinaria evita, reduce o elimina las consecuencias de los fallos, afectando de manera directa todos los aspectos del negocio; riesgo, seguridad, integridad ambiental, eficiencia energética, calidad del producto y servicio al cliente.

El desarrollo de las técnicas de mantenimiento ha sido el resultado de la necesidad de adaptación a las nuevas demandas, provocando el surgimiento de diferentes opciones, a la hora de la realización del mantenimiento en las industrias. Estas técnicas u opciones son: Mantenimiento basado en la rotura (MBR), Mantenimiento basado en el tiempo (MBT) y Mantenimiento basado en la condición (MBC).

2.1.2 Funciones Básicas del Mantenimiento

El mantenimiento tiene cinco funciones básicas a saber: reparar, mantener, preservar, mejorar y concebir los equipos, con los que la empresa desarrolla su actividad, a continuación se dará una breve explicación de cada una de ellas:

Reparar: Es solucionar las averías que se producen en el equipo, para devolver al mismo el estado de disponibilidad perdido a causa de la avería, en el menor tiempo y con el menor costo posible. Para ello, se debe coordinar el uso de los recursos (mano de obra y materiales), establecer los procedimientos y coordinar las prioridades con otros departamentos.

Mantener: Es Planear la forma más adecuada de intervenir en el equipo, para que el costo total del mantenimiento sea mínimo a corto plazo. De esta forma, se evitan las averías y el mal funcionamiento de equipos e instalaciones a futuro, reduciendo el costo y la cantidad de intervenciones. Para ello, se utilizan todos los medios disponibles, incluso los estadísticos para determinar la frecuencia de revisiones, sustitución de partes claves, probabilidad de aparición de averías, etc. La programación, el análisis de fallas, la relación causa-efecto son herramientas fundamentales.

Preservar: Es realizar las intervenciones que exige el diseño del equipo para su correcta conservación y así, poder alargar la vida útil de las máquinas e instalaciones, evitando su desgaste mediante la generación de rutinas de engrase, limpieza y protección contra los agentes erosivos y corrosivos.

Mejorar: Es modificar el diseño del equipo a la luz de la experiencia, para reducir el costo del mantenimiento en el futuro. Comprende las actividades de todo tipo, tendientes a eliminar las necesidades de mantenimiento (mejorar para no reparar) para corregir las fallas de manera integral a mediano plazo mediante la modificación de elementos de máquina, el planteo de nuevas alternativas de proceso o la revisión de los elementos básicos de mantenimiento.

Concebir: Es participar en el diseño de los equipos, para transferir al diseñador la experiencia y los conocimientos de las características de mantenimiento de los equipos actuales. Esto asegura que, en el diseño de un nuevo equipo o en la modificación de uno existente, se tengan en cuenta los factores que de una manera u otra inciden sobre la mantenibilidad, tanto en lo que trata de evitar las fallas como en lo concerniente a facilitar las operaciones de mantenimiento.

2.1.3 El mantenimiento basado por condición (Predictivo)

El área de actividad del Mantenimiento Industrial es de capital importancia en el ámbito de la ejecución de las operaciones en la industria.

De un buen Mantenimiento depende, no sólo un funcionamiento eficiente de las instalaciones, sino que además, es preciso llevarlo a cabo con rigor para conseguir otros objetivos como son el control del ciclo de vida de las instalaciones sin disparar los costes destinados a mantenerlas.

Las estrategias convencionales de "reparar cuando se produzca la avería" ya no sirven. Fueron válidas en el pasado, pero ahora se es consciente de que esperar a que se produzca la avería para intervenir, es incurrir en unos costos excesivamente elevados (pérdidas de producción, deficiencias en la calidad, etc.) y por ello las empresas industriales se plantearon llevar a cabo procesos de prevención de estas averías mediante un adecuado programa de mantenimiento.

Es preciso disponer de un sistema de mejora continua para tratar de distanciarse de los competidores y así mejorar nuestra posición en el mercado.

En cuanto a mantenimiento se refiere, las únicas estrategias válidas hoy en día son las encaminadas tanto a aumentar la disponibilidad y eficacia de los equipos productivos como a reducir los costos de mantenimiento, siempre dentro del marco de la seguridad y el medio ambiente.

En este escenario se inserta la tecnología del diagnóstico para el mantenimiento predictivo como una herramienta de competitividad en la industria moderna. **MARTÍNEZ, (2003).**⁽¹⁰⁾

Mediante el mantenimiento basado en la condición se logra contar con diferentes técnicas y herramientas que mediante un estudio detallado de los equipos y los componentes de cada uno de estos dentro de las líneas de producción se logra determinar la condición en la que se encuentra la máquina.

2.1.4 Definición del mantenimiento basado en la condición

El mantenimiento basado en la condición es de suma importancia en la industria manufacturera ya que a nivel gerencial la vista esta más que nunca puesta en el aumento del rendimiento y de la productividad así como en la búsqueda de la calidad de los productos y de los servicios, asumiendo la competitividad que existe en todas las empresas del mundo entero.

Varios autores han realizado definiciones del mantenimiento basado en la condición; de esta manera **ESTUPIÑÁN (2001)** señala lo siguiente:

Mantenimiento basado en la condición, estrategia de mantenimiento que busca por medio de la medición y el análisis de los diversos síntomas que la máquina emite al exterior establecer la condición mecánica de la máquina y su evolución en el tiempo. Una de sus grandes ventajas es que se lleva a cabo mientras la máquina esta en funcionamiento y sólo se programa su detención cuando se detecta un problema y se desea corregir.⁽¹¹⁾

Según la definición citada anteriormente, el mantenimiento basado en la condición permite ejecutar sus técnicas sin interrumpir el proceso de producción, así mismo detectar las fallas inesperadas para ser controladas de manera planeada.

CONFALONIERI (2005), define el mantenimiento basado en la condición como:

El Mantenimiento basado en la condición se puede definir como el seguimiento organizado con medición periódica o continua de variables de estado del sistema y su comparación con patrones preestablecidos, para la determinación del instante en que se debe producir la intervención de mantenimiento. Por tanto, consiste en subsanar el fallo cuando éste es aun se encuentra en una etapa incipiente. ⁽¹²⁾

Con el concepto antes visto referente al mantenimiento basado en la condición se agrega un aspecto importante que consiste en evaluar las fallas de manera anticipada y tomar acciones antes de que se presenten, realizando un estudio de todas las variables del equipo expuestas a fallas.

De igual forma al analizar las fallas como se realiza con el mantenimiento basado en la condición, el grupo de la empresa encargado de evaluar los costos por mantenimiento, podrá disponer de herramientas que le permita reducir gastos y controlarlos.

El mantenimiento presenta un pilar fundamental al hablar de costos de producción, por esto **DUFFUAA** (2003) señala que “**Un sistema eficaz de operación y control del mantenimiento es la columna vertebral de una sólida administración del mantenimiento**”. ⁽¹³⁾

2.1.4.1 Parámetros de control del mantenimiento por condición

Los parámetros a controlar, así como el tipo de técnica y los métodos necesarios para el seguimiento y la evolución del estado de las maquinas rotativas son muy amplios, ya que por su enorme extensión en la industria, a estos equipos se les han

aplicado protocolos de mantenimiento basado en la condición desde hace bastantes años.

Aunque en un principio la única técnica aplicada era el análisis de vibraciones, en la actualidad se pueden encontrar equipos aptos para el análisis físico-químico de lubricantes, mediciones de par, velocidad, temperatura, ruido, el estudio de deterioro de los cojinetes, los niveles de desalineación, y en definitiva, la observación y seguimiento de casi todas las variables de la maquina que sufren alguna alteración con la existencia de la avería.

2.1.4.2 Implementación de los controles del mantenimiento por condición

Un plan de mantenimiento por condición se implementa a los equipos de funcionamiento continuo, críticos y esenciales a la producción, así como también aquellos equipos que presentan un historial de fallas elevado, la implementación de un programa de control de este tipo de mantenimiento consiste básicamente en cuatro etapas, las cuales aseguran la disponibilidad y mantenibilidad de los equipos.

Entendiendo por disponibilidad la función que permite calcular el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo este disponible para cumplir la función para la cual esta destinado. Por otra parte **CHRISTENSEN** (2004), lo define como **“Es el porcentaje del tiempo analizado, en el cual el equipo esta disponible para producir”** ⁽¹⁴⁾. De esto se deduce que dependiendo de las condiciones operativas del equipo se determinara el tiempo para cumplir su función en porcentaje.

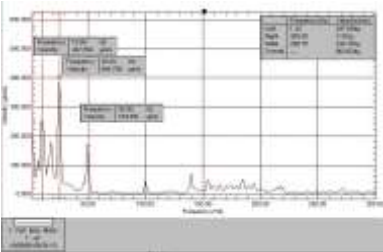
La mantenibilidad es la capacidad que tiene una maquina de mantenerse en condiciones operativas normales para el cumplimiento de su función en la producción. **SIMBRON** (2004) ⁽¹⁵⁾.

Como se menciona en párrafos anteriores la implementación de un programa de control basado en mantenimiento por condición consiste en cuatro etapas que son: Planificación, Medición, Almacenamiento y Análisis. (Ver figura 1).

Planificación



Medición



Análisis

Almacenamiento

Figura 1: Etapas de implementación del mantenimiento por condición.

Fuente: Tomado de **FERNANDEZ** (2003) ⁽¹⁶⁾.

La primera etapa de planificación, consiste en planificar todo el programa de mantenimiento que se va a implementar, una vez definidos los equipos a inspeccionar, las técnicas seleccionadas y las variables a controlar. Esta etapa debe cumplir con las siguientes actividades: enumeración y clasificación de las maquinas a inspeccionar, normalización de parámetros y condiciones de evaluación de las maquinas y definición de frecuencia de medición.

Para cumplir las dos últimas actividades se debe realizar la curva de comportamiento, que relacione la variable a controlar (la condición) con la probabilidad de falla del equipo, con esto se establece la condición de alerta (valor del parámetro donde se indica que el equipo ha acumulado un grado de deterioro significativo) y la condición de alarma (valor límite para llevar a cabo la acción correctora). (Ver gráfico 5).

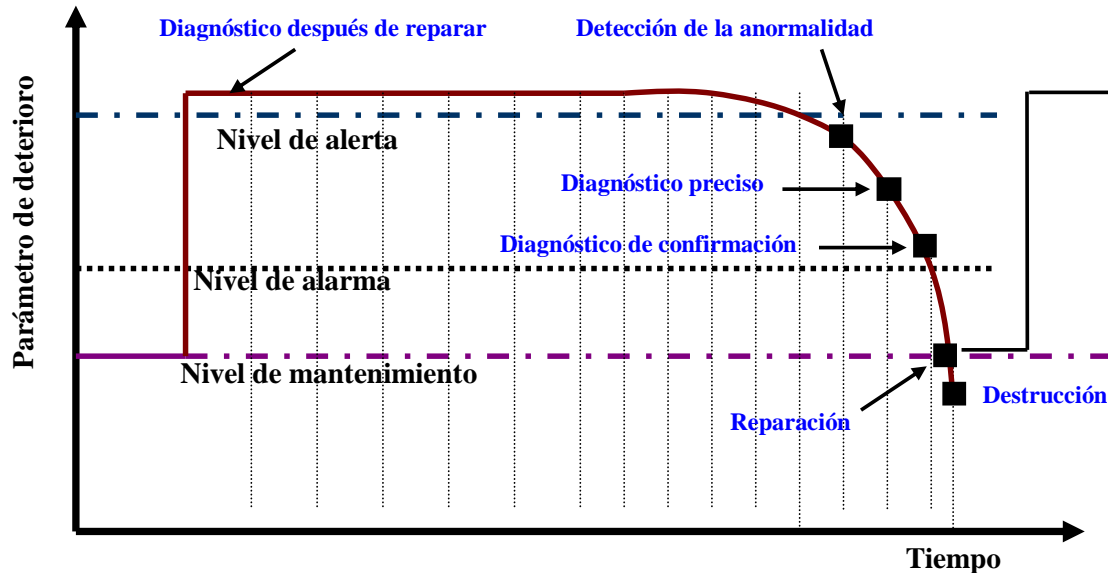


Gráfico 5: Curva de comportamiento en el avance del mantenimiento por condición.

Fuente: Tomado de **RODRIGUEZ** (2004)⁽¹⁷⁾.

Luego se procede a evaluar la frecuencia de medición a través de dos etapas, la primera es establecer la frecuencia de monitoreo antes de llegar a la condición de alerta. La misma está determinada por la estimación de la vida útil que se espera para el equipo. Éstas deben integrarse con el resto de las mediciones, para hacer más eficientes los recorridos. La segunda es determinar la frecuencia de monitoreo después del valor de alerta, en función del comportamiento de la variable entre ese punto y el punto de alarma. Además, se debe tener en cuenta la diferencia de costo entre la falla y la acción correctora.

Una vez ejecutada la primera etapa que es la planificación del programa de mantenimiento por condición, se lleva a cabo la segunda a través de la selección de los

puntos de medición y la ejecución de las mediciones. Para seleccionar los puntos se debe realizar un proceso selectivo que permita obtener la localización de las posiciones que suministren la información más representativa posible y una vez realizado este proceso se representan las mediciones correspondientes a cada punto de medición.

La próxima etapa es el almacenamiento de datos, luego de haber llevado a cabo las mediciones correspondientes en el campo, en función del programa de mantenimiento por condición acordado, se comienza con la etapa de almacenamiento de los datos y esta consta a su vez de dos pasos básicos: Carga de datos iniciales, Registro y control de datos.

La última etapa de análisis y tendencia de datos permitirá conocer los estados y condiciones de los equipos a través de la utilización de nuevas técnicas y equipamiento, que permiten la detección de falla en un estado muy precoz, logrando así un seguimiento de la evolución de la falla y análisis de su tendencia de crecimiento a través de cada medición realizada obteniendo con una excelente aproximación el punto máximo de utilización o de rotura, siendo de gran utilidad al momento de programar las tareas de reparación. (Ver grafico 6)

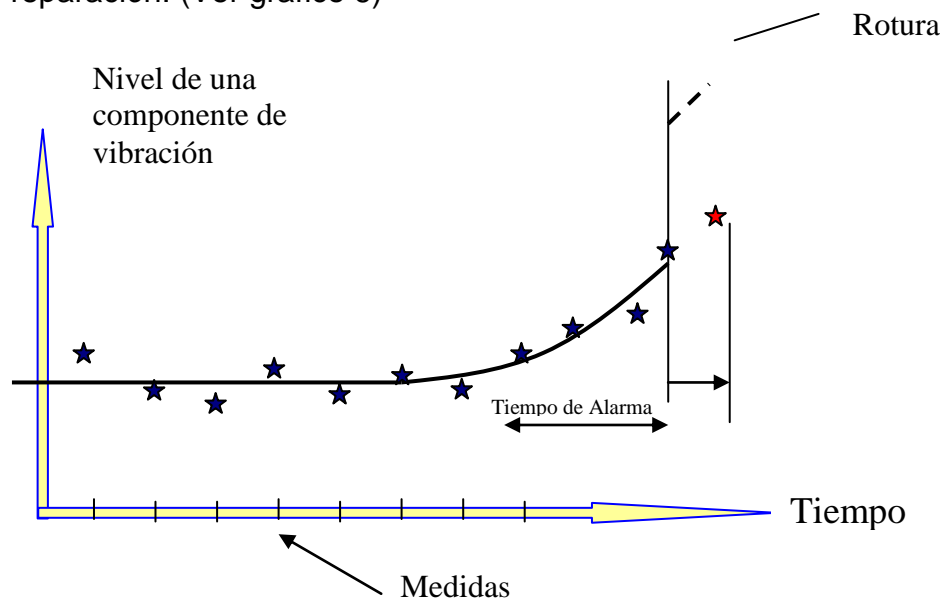


Gráfico 6: Monitoreo de tendencia

Fuente: Tomado **INTERNET** (2003)⁽¹⁸⁾

2.1.4.3 Técnicas del mantenimiento por condición

Cuando se habla de la ejecución del mantenimiento por condición en las empresas, se debe tomar en cuenta una serie de análisis que permiten la verdadera aplicación del mismo. Estos análisis se realizan a través de técnicas, que dependiendo de los componentes que conforman el equipo, son seleccionadas para su implementación, lo cual permite conocer la condición del equipo en un momento dado.

Entre estas técnicas se encuentran las siguientes: a) Uso de los sentidos en la detección de fallas: La vista es utilizada para detectar fugas, humo o cambio de superficies por recalentamiento, el olfato para detectar fugas y recalentamiento, el tacto para detectar vibraciones o temperaturas anormales y el oído para detectar ruidos anormales indicativos de algún problema, pueden utilizarse como detectores de la condición del equipo bajo determinadas condiciones, pero su uso tiene sus propios límites y puede conducir a errores.

b) El análisis vibratorio: La vibración mecánica es el parámetro mas utilizado universalmente para monitorear la condición de la maquina, debido que a través de ellas se pueden detectar la mayoría de los problemas que ellas presentan. La base del diagnostico de la condición mecánica de una maquina mediante el análisis de sus vibraciones se basa en que las fallas que en ella se originan, generan fuerzas dinámicas que alteran su comportamiento vibratorio. La vibración medida en diferentes puntos del equipo se analizan utilizando indicadores vibratorios como: el espectro, la medición de fase componentes vibratorias, los promedios sincrónicos y modulaciones. (Ver gráfico 7).

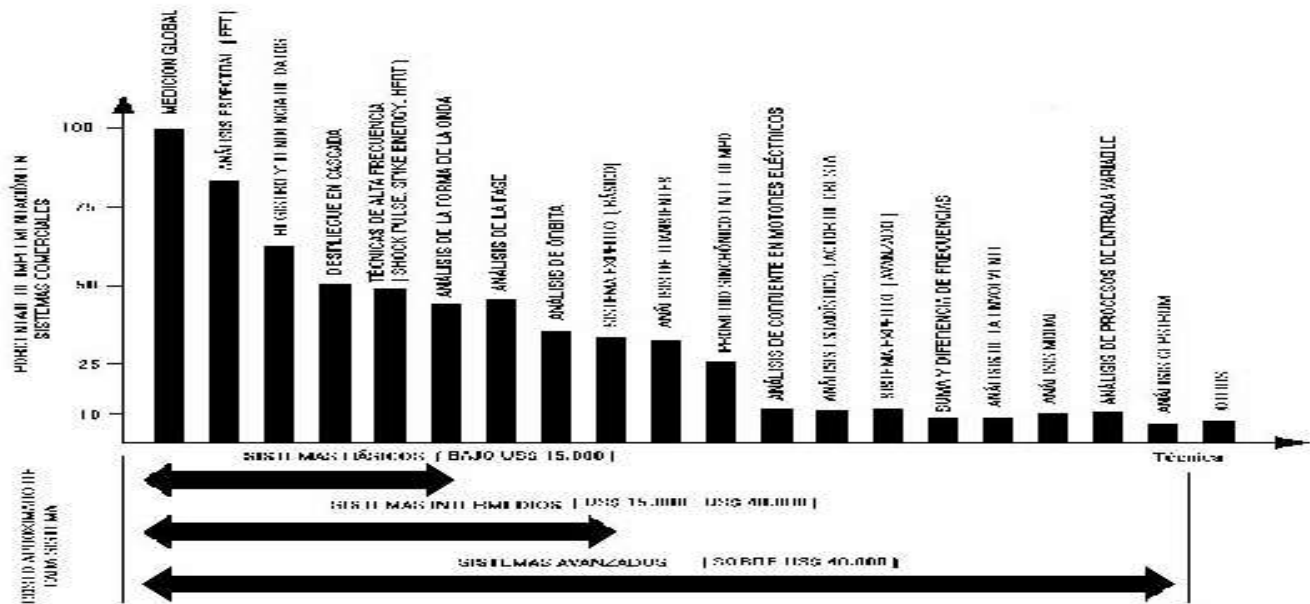


Gráfico 7: Indicadores Vibratorios.

Fuente: Tomado de **ESTUPINAN** (2001)⁽¹⁹⁾.

En la práctica, se requiere del uso de diferentes indicadores como los presentados anteriormente y técnicas de análisis, debido a que problemas diferentes presentan síntomas similares y a través de estos indicadores se pueden distinguir uno del otro.

c) El análisis del lubricante: Consiste en una serie de pruebas de laboratorio que se usan para evaluar la condición de los lubricantes usados o los residuos presentes. Al estudiar los resultados del análisis de residuos se logra elaborar un diagnóstico sobre la condición de desgaste del equipo y sus componentes. Los objetivos principales por lo que se realiza un análisis de lubricante son el control de la degradación del lubricante, el monitoreo de daño mecánico de componentes, el control de contaminantes por sólidos, fluidos o gases y la verificación que se este usando el lubricante adecuado.

d) Medición de temperaturas: Mediante un control periódico de la temperatura en distintos puntos seleccionados como representativos del equipo, del ambiente y en

algunos casos del producto en proceso, pueden detectarse anomalías y/o disfunciones, variación de condiciones de servicio o condicionantes de vida remanente.

e) Análisis de la corriente eléctrica: Se considera el análisis de corriente como una herramienta de apoyo al análisis vibratorio, en la evaluación de la condición de motores de inducción. El análisis de corriente consiste en medir la corriente, mediante un amperímetro de tenazas alrededor de cada una de las fases del motor. La corriente medida se introduce entonces al analizador de vibraciones para el análisis de su espectro. Se debe tener presente, que existen problemas mecánicos como el desbalanceo, desalineamiento o flexión del eje, que hacen que el entrehierro varíe entre el rotor y estator, produciendo fuerzas y vibraciones electromagnéticas, siendo en verdad, un problema de origen mecánico. Por este motivo, cuando se analice un motor eléctrico con un análisis de corriente, primero se debe conocer los orígenes de los problemas mecánicos.

f) Medición de ruidos: Es el análisis del ruido de fondo para poder evaluar las frecuencias dominantes del espectro, con el objetivo de determinar cuáles son las excitatrices que generan el evento.

g) Termografía infrarroja: Es una herramienta de alto potencial, que permite identificar, sin contacto alguno, componentes eléctricos y mecánicos mas calientes, de lo que deberían estar (a menudo una indicación de área de falla inminente). En otras palabras la termografía permite una visualización de los estados térmicos de los distintos elementos, permitiendo por ejemplo la detección de borneras flojas, temperaturas anormales en acoplamientos a causa de la desalineación, conductores sobrecargados, cojinetes con problemas, fallas de aislamiento y cualquier otro problema cuya manifestación sea un efecto térmico.

2.2 EL MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN EN SIDOR

SIDOR es una empresa siderúrgica encargada de fabricar productos de acero, clasificándose en productos planos y no planos. En cuanto a los sistemas de mantenimiento que se rigen en el mismo se encuentra el mantenimiento correctivo y preventivo, los cuales se han venido aplicando desde su fundación hasta estos últimos tiempos.

Hace más de 5 años en que se comenzó a aplicar las técnicas del mantenimiento por condición en plantas como Laminación en Frío, Planta de Pellas, Laminación en Caliente, Midrex, HYL, Cribado, entre otras.

Cada planta es autónoma en su mantenimiento, es así como los presupuestos de mantenimiento se dividen entre cada una de ellas para así mejorar el control de los mismos.

Cuando se comenzó a implementar las técnicas de mantenimiento por condición en SIDOR, los gastos por mantenimiento en líneas generales eran excesivos, pues al momento en que se generaba la falla de un equipo simplemente este era remplazado por uno nuevo sin determinar las causas que originaron la falla y mucho menos la vida útil del mismo.

Actualmente la mayoría de las plantas cuentan con un plan de mantenimiento por condición aplicado casi en su totalidad a los equipos críticos, en donde los costos por mantenimiento se han reducido de manera significativa desde el comienzo de la aplicación hasta nuestros días.

Es por esto que el mantenimiento por condición ha venido creciendo en SIDOR de manera tal que ya existe un departamento centralizado con personal altamente calificado, que se encargan de la aplicación de estas técnicas en las diferentes plantas de la empresa.

2.3 EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN TALLER CENTRAL

En la Gerencia de Taller Central de SIDOR, se encuentra el Departamento de Mantenimiento Predictivo, el cual se encarga de asegurar a los responsables de los equipos de cada área de producción, el estado en que se encuentran sus máquinas informando sobre la capacidad que tienen sus componentes para llevar a cabo con éxito la función requerida en su operación.

Este departamento utiliza las técnicas necesarias para el análisis de predictivo, entre los que está el equipo de analistas de vibraciones, el equipo de analistas de lubricantes, el equipo de analistas eléctricos, entre otros.

Así mismo cada una de estas personas detecta las posibles fallas a ocurrir en las líneas para tomar medidas que impidan las paradas no programadas.

Como se dijo en la sección anterior hace más de 5 años se creó este departamento y a medida que ha venido pasando el tiempo la creencia y la confianza que cada líder de grupo de las diferentes plantas ha sembrado en predictivo ha sido de gran significación, pues en la mayoría de los casos los análisis finales se utilizan para la toma de decisiones, para evaluar los costos de mantenimiento en las paradas programadas y para el control de diferentes parámetros asociados al mantenimiento.

De este modo es como el departamento de predictivo tiene el compromiso de evaluar los estados de los equipos dando previo aviso a sus responsables, además de evaluar las causas raíces de las fallas que se han presentado.

2.4 EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN DECAPADO 2

Como se ha mencionado SIDOR procesa productos de acero planos y no planos, entre los productos planos se encuentran las bobinas laminadas en caliente, las cuales por exigencias del cliente son pasadas a través de diferentes procesos para mejorar su

calidad, así como también sus características y propiedades. El decapado es uno de estos procesos, consiste en la eliminación del óxido de las bobinas, haciéndolas pasar de manera continua por un tanque de ácido clorhídrico bajo condiciones controladas de concentración y temperatura.

Desde que se implementó el mantenimiento por condición en SIDOR se ha venido gestionando la realización y ejecución del mismo en las líneas Decapado 1 y 2, principalmente en sus equipos críticos pues la misma es de alta rentabilidad e importancia para la siderúrgica y es imprescindible el buen estado de todas sus maquinarias que operan para obtener su producto de comercialización.

La línea Decapado 1 cuenta con el plan de mantenimiento por condición para sus equipos críticos, en donde los resultados de su aplicación son favorables para la producción.

Caso contrario ocurre con los equipos principales de la línea Decapado 2, los cuales son: 2 desenrolladores, 2 enrolladores, 13 bridas de tensión, 2 trozadores de chatarra, 1 cabrestante de entrada y 1 cabrestante de salida, Estando los desenrolladores y enrolladores compuestos por un motor y una caja reductora, de igual forma se encuentran compuestas las bridas de tensión, trozadores de chatarra y cabrestantes, sumándole los rodillos de trabajo.

En los últimos dos años, se presentaron fallas repetitivas en gran parte de estos equipos, sea por daños en rodamientos, desalineación, desgaste en engranajes, entre otros.

Estas fallas generaron paradas no programadas del proceso productivo de la línea provocando grandes pérdidas de producción y gastos extras por mantenimiento.

De esta forma surgió la necesidad de la aplicación del mantenimiento por condición en los rotativos críticos de la línea Decapado 2, para así otorgar a los

responsables de la misma, la confiabilidad y disponibilidad que ellos necesitan de sus equipos.

2.5 MODO DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTO

El FMECA (*Modo de Falla y Análisis de Efecto*, “*Failure Mode, Effects and Critically Analysis*”) es una técnica sistemática para analizar e identificar fallas. Cada componente se somete a un conjunto de preguntas y el analista las responde indicando el efecto de cada modo de falla sobre el sistema, proponiendo posibles medios para minimizar esos efectos. Luego, la posibilidad de cada falla se usa para estimar la probabilidad de falla de todo el sistema.

2.5.1 Objetivos del FMECA

1. Revisión sistemática del modo de falla del componente.
2. Determinar el efecto que la falla tiene sobre otras partes del sistema.
3. Calcular la probabilidad de falla.
4. Establecer programas de pruebas.
5. Determinar cómo reducir la tasa de fallas del sistema.
6. Identificar y reducir los efectos adversos que puedan ocurrir por la falla.

2.5.2 Generación del FMECA

La identificación de la falla se simplifica si se usa una serie de palabras guías, aplicadas en forma sistemática, sección por sección, línea por línea para revelar situaciones no adecuadas o desviaciones de los valores de las variables fuera de los límites de aceptación.

NO....NO hay flujo, temperatura, fuerza, etc. Cuando lo normal es que exista.

MAS DE....Cuando hay exceso de flujo, temperatura, etc. Con respecto a lo normal.

MENOS DE....Cuando falta flujo, presión, etc. Con respecto a lo normal.

PARTE DE....Cuando hay cambio en la composición.

MAS QUE....Cuando se toman en cuenta impurezas, otras fases, etc.

OTRAS....Cuando se toman en cuenta aspectos que no pertenecen a la operación normal como paradas arranques, suministros, etc.

La falla se define como la inhabilidad de un equipo para cumplir la función a un estándar de rendimiento que el usuario desea, por lo tanto para generar el FMECA, a cada falla funcional se le debe atribuir sus causas potenciales sobre el equipo, de acuerdo al conocimiento y experiencia que tenga el grupo multidisciplinario de trabajo acerca del modo de fallas del equipo.

También se le debe asignar a cada causa de falla estudiada los valores de *severidad del efecto*, *frecuencia de ocurrencia* y *métodos de detección*. Para asignar estos valores, el equipo de trabajo debe guiarse por tablas normalizadas. (Ver tablas 1, 2 y 3, respectivamente)

Tabla 1
Métodos de Detección

<i>Certera</i>	1	Método de Detección probado y disponible	Si el valor cae entre dos valores elegir el mayor
<i>Muy Alta</i>	2	Método de Detección probado y disponible	Si el equipo de trabajo presenta discordancias siga estos consejos:
<i>Alta</i>	3	Posibilidad de simular o modelar	1.- Si el desacuerdo es en categorías adyacentes ,trabaje
<i>Moderadamente Alta</i>	4	Posibilidad de ensayos en prototipos	Con el promedio de los números
<i>Media</i>	5	Ensayos en la producción misma	2.- Si el desacuerdo es en categorías no adyacentes debe
<i>Baja</i>	6	Ensayos en sistemas de producción similares	tratar de lograrse un consenso
<i>Leve</i>	7	Ensayos sobre productos y prototipos	
<i>Muy Leve</i>	8	Ensayos de durabilidad en componentes instalados	
<i>Remota</i>	9	Técnicas poco confiables	
<i>Casi Imposible</i>	10	Ninguna técnica disponible	

Fuente: Propia (2011).

Tabla 2
Frecuencia de Ocurrencia

<i>Certera</i>	10	La falla ocurre casi siempre	Si el valor cae entre dos valores elegir el mayor
<i>Muy Alta</i>	9	Muy Alto número de fallas	Si el equipo de trabajo presenta discordancias siga estos consejos:
<i>Alta</i>	8	Alto número de fallas	1.- Si el desacuerdo es en categorías adyacentes ,trabaje
<i>Moderadamente Alta</i>	7	Ocurrencia de fallas moderada	Con el promedio de los números
<i>Media</i>	6	Medianamente ocurren fallas	2.- Si el desacuerdo es en categorías no adyacentes debe
<i>Baja</i>	5	Ocasionalmente ocurren fallas	tratar de lograrse un consenso
<i>Leve</i>	4	Pocas veces ocurren fallas	
<i>Muy Leve</i>	3	Muy pocas veces ocurren fallas	
<i>Remota</i>	2	Rara vez ocurren fallas	
<i>Casi Imposible</i>	1	Nunca ha ocurrido	

Fuente: Propia (2011).

Tabla 3
Severidad del Efecto

<i>Sin Efectos</i>	1	No hay efectos	Si el valor cae entre dos valores elegir el mayor
<i>Muy Leve</i>	2	Efecto marginal	Si el equipo de trabajo presenta discordancias siga estos consejos:
<i>Leve Efecto</i>	3	Leve efecto en la producción o rendimiento	1.- Si el desacuerdo es en categorías adyacentes ,trabaje
<i>Menor</i>	4	Menor efecto en la producción o rendimiento	Con el promedio de los números
<i>Moderado</i>	5	Moderado efecto en la producción o rendimiento	2.- Si el desacuerdo es en categorías no adyacentes debe
<i>Significante</i>	6	Falla parcial , degradación del producto	tratar de lograrse un consenso
<i>Mayor</i>	7	Producto severamente afectado con sistema en función segura	
<i>Extrema</i>	8	Producto y sistema inoperable	
<i>Seria</i>	9	Riesgo potencial, Producto y sistema inoperable	
<i>Riesgo</i>	10	Falla súbita con efecto en la seguridad. Fuera de Normas	












Fuente: Propia (2011).

2.6 ÁRBOL DE FALLA

El árbol de fallas es un diagrama lógico que identifican todas las secuencias de eventos que provocan un suceso, estableciendo una relación lógica entre los eventos iniciales y los eventos finales.

La evaluación de un árbol de fallas puede limitarse a un tratamiento cualitativo o acceder a un segundo nivel de análisis a través de la cuantificación cuando existen fuentes de datos relativas a las tasas de fallo de los distintos componentes. El árbol de falla puede usarse para prevenir o identificar fallas antes de que ocurran, pero se usan con más frecuencia para analizar accidentes o como herramientas investigativas para señalar fallas. Al ocurrirse un accidente o una falla, se puede identificar la causa raíz del evento negativo. Para la construcción de este árbol se usan símbolos para representar varios eventos y para describir relaciones. (Ver tabla 4)

Tabla 4
Simbología Árbol de Falla

SÍMBOLOS	SIGNIFICADO DEL SÍMBOLO
	SUCESO BÁSICO. No requiere de posterior desarrollo al considerarse un suceso de fallo básico.
	SUCESO NO DESARROLLADO. No puede ser considerado como básico, pero sus causas no se desarrollan, sea por falta de información o por su poco interés.
	SUCESO INTERMEDIO. Resultante de la combinación de sucesos más elementales por medio de puertas lógicas. Asimismo se representa en un rectángulo el "suceso no deseado" del que parte todo el árbol.
	PUERTA "Y"  El suceso de salida (S) ocurrirá si, y sólo si ocurren todos los sucesos de entrada (E1 B1).
	PUERTA "O"  El suceso de salida (S) ocurrirá si ocurren uno o más de los sucesos de entrada (E1 B1).
	SÍMBOLO DE TRANSFERENCIA. Indica que el árbol sigue en otro lugar.
	PUERTA "Y" PRIORITARIA. El suceso de salida ocurrirá si, y sólo si todas las entradas ocurren en una secuencia determinada, que normalmente se especifica en una elipse dibujada a la derecha de la puerta.
	PUERTA "O" EXCLUSIVA. El suceso de salida ocurrirá si lo hace una de las entradas, pero no dos o más de ellas.
	PUERTA DE INHIBICIÓN. La salida ocurrirá si, y sólo si lo hace su entrada y además se satisface una condición dada (X).

Fuente: Propia (2011).

2.7 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite ordenar por orden de importancia decreciente, sistemas y equipos de plantas industriales en relación a las consecuencias que estos tienen cuando presentan fallas. Así mismo se puede definir como un procedimiento mediante el cual cada falla potencial es jerarquizada de acuerdo a una combinación de influencias de severidad y probabilidad de ocurrencia.

Existen tres métodos a través de los cuales se puede realizar el análisis de criticidad, los cuales son: el método cuantitativo, el método cualitativo y el método de la cuantificación económica del riesgo. Cada uno usa sus propios criterios de evaluación para cada sistema o equipos a evaluar.

3 SISTEMA DE PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

A continuación se exponen las preguntas de investigación que fueron respondidas con la investigación realizada.

3.1 ¿Cuál es la ubicación técnica y en planta de los equipos principales de la línea decapado 2?

3.2 ¿Cuáles son las funciones de los equipos principales de la línea Decapado 2 y sus parámetros de funcionamiento deseados?

3.3 ¿Cuántos y cuáles de los equipos principales resultaran críticos para el proceso productivo?

3.4 ¿Cuáles serán las fallas mas importantes que se obtendrán a través del análisis de falla FMECA realizado sobre los equipos críticos?

3.5 ¿Cuántos y cuáles serán los eventos más resaltantes que provocan las fallas más importantes encontradas a través del FMECA?

3.6 ¿Qué acciones de mantenimiento serán aplicadas para el plan de mantenimiento por condición de los equipos rotativos críticos de la línea Decapado 2?

3.7 ¿Cuál será la frecuencia de monitoreo de las acciones de mantenimiento seleccionadas?

3.7 ¿Qué curvas de comportamiento de cada una de las variables de las acciones seleccionadas, resultaran de la descarga y análisis de la información recolectada?

CAPÍTULO 3

DISEÑO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describen los aspectos que enmarcan el diseño metodológico que fue utilizado para el análisis del estudio que se propuso en esta investigación; de igual manera se señala el tipo de estudio que se desarrollo, la caracterización de la muestra, los instrumentos que se utilizaron y finalmente el procedimiento que se llevo a cabo para el desarrollo del diseño del plan de mantenimiento basado en mantenimiento por condición para los equipos rotativos críticos de la línea Decapado 2 de SIDOR.

1 TIPO DE ESTUDIO

El presente estudio fue desarrollado como una investigación no experimental del tipo aplicada. Según **NÁRVAEZ** (2001) señala a la investigación aplicada como:

La investigación aplicada puede implicar diseño, elaboración, desarrollo y/o implementación de un sistema, un modelo, un método, un procedimiento, una estrategia, una destreza, un instrumento o una herramienta.⁽²⁰⁾

De lo citado anteriormente el estudio realizado es una investigación aplicada o tecnológica ya que permitió a través del análisis de predictivo examinar las falla incipientes que pueda presentar los componentes de los equipos críticos de la línea Decapado 2 de SIDOR.

2 MUESTRA

Para el diseño del estudio presentado fue importante delimitar las características de la población y muestra que representaron la herramienta fundamental para la ejecución y valoración de este trabajo de investigación. Es por eso que se deben enumerar la población y la muestra de manera tal que se obtengan los parámetros para establecer la unidad de análisis. De acuerdo con **BERMEJO** (2004), la población se define como: **“La población o población objetivo es ese grupo entero de elementos de los que queremos recoger datos”**.⁽²¹⁾

De lo antes citado y para efectos de la investigación, la muestra del estudio estuvo compuesta por los equipos principales que conforman la línea Decapado 2, estos equipos son: 2 desenrolladores, 2 enrolladores, 13 bridas de tensión, 2 trozadores de chatarra, 1 cabrestante de entrada y 1 cabrestante de salida, estando los desenrolladores y enrolladores compuestos por un motor y una caja reductora, de igual forma se encuentran compuestas las bridas de tensión, trozadores de chatarra y cabrestantes, sumándole los rodillos de trabajo.

Estos equipos son los encargados de transportar la bobina o banda hacia los tanques de ácido, dándole el acabado final y luego llevándola a la salida de la línea, donde es preparada para la venta directa o para ser procesada por otras líneas de producción. Los equipos mencionados anteriormente fueron utilizados para el diseño del plan de mantenimiento basado en el mantenimiento por condición.

3 INSTRUMENTOS

Luego de especificar el tipo de estudio, el diseño de la investigación y la muestra seleccionada para el desarrollo del diseño del plan de mantenimiento predictivo, se realizó la recolección de datos e información necesaria para la ejecución de tal fin. - **MÁRQUEZ** (2003), define los instrumentos como: **“Los mecanismos que usa el investigador para recolectar y registrar la información, formularios, pruebas, test, escalas de opinión, listas de chequeo”.**⁽²²⁾

De lo anteriormente citado se presentan a continuación los instrumentos utilizados para la recolección y análisis de los datos e información que fueron necesarios para la ejecución de esta investigación.

3.1 INDICADORES DE GESTIÓN

La recolección de los datos acerca de los indicadores de productividad y costos de mantenimiento que sustentaron la problemática existente en el desarrollo de la investigación, fue llevada a cabo en conjunto con el personal encargado de su desarrollo en SIDOR.

3.2 CHARLAS CON EL GRUPO TÉCNICO DE LA LINEA DECAPADO 2

Para conocer datos e historiales de fallas acontecidos en los equipos principales de la línea Decapado 2 fue necesario efectuar charlas con los responsables de cada uno de los equipos y obtener la información requerida para la elaboración del informe.

3.3 DATOS TÉCNICOS DE CADA EQUIPO

Con la revisión de los manuales de cada fabricante y de los planos de los componentes de cada equipo se conocieron todos los detalles de manera específica en cuanto a los datos técnicos y composición de cada uno de ellos.

3.4 RED INTRANET

Por medio de la página interna de SIDOR se obtuvieron las actualizaciones de las tendencias así como las ponderaciones de la efectividad y disponibilidad de la línea Decapado 2.

3.5 SOFTWARES

Para la recolección y análisis de resultados de las técnicas aplicadas en el mantenimiento por condición fue necesario contar con paquetes especializados de computación como lo son: el General Asistent Management (GAM), Labsys MTI, Excel y Acrobat Reader.

3.6 BIBLIOTECAS, INTERNET Y OTRAS FUENTES

Toda la información descriptiva acerca de cada una de las variables de investigación que permitieron sustentar el desarrollo de la misma fue determinada por referencias bibliográficas por medio de la Internet, bibliotecas y otras fuentes.

4 PROCEDIMIENTO

Para la ejecución del desarrollo del plan de mantenimiento por condición en la línea Decapado 2, se cumplieron con las siguientes acciones:

4.1 Recolección de todos los datos técnicos como planos, especificaciones de fabricantes, historial de fallas, etc. de todo el conjunto de los equipos principales de la línea Decapado 2.

4.2 Ubicación e identificación de los equipos principales de la línea Decapado 2, a través de visitas a planta y consultando los planos de diseño de la línea.

4.3 Definición de las funciones de los equipos principales y parámetros de funcionamientos deseados.

4.4 Evaluación de los equipos principales de la línea a través del análisis de criticidad, que permitieron obtener los equipos críticos para el proceso productivo.

4.5 Identificación de las fallas más importantes para cada equipo crítico, utilizando la técnica FMECA.

4.6 Identificación de los eventos más resaltantes, que provocan las fallas más importantes encontradas a través del FMECA, con la realización y cuantificación del árbol de fallas.

4.7 Selección de las acciones de mantenimiento que apliquen a cada caso, determinando los puntos de medición mas adecuada para cada equipo y su frecuencia de monitoreo.

4.8 Utilización de las herramientas para la recolección, carga y análisis de datos como equipos especializados MTI y software Labsys MTI, para la obtención de las curvas de comportamiento.

4.9 Tabular los datos obtenidos posteriormente al desarrollo del plan de mantenimiento.

4.10 Análisis detallado de los resultados obtenidos para la elaboración del informe final: Tesis de Grado.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados de la evaluación llevada a cabo sobre los equipos principales de la línea Decapado 2 de SIDOR, a través del desarrollo del FMECA y análisis del árbol de falla, lo cual permitió evaluar inicialmente las fallas potenciales que afectan el sistema, los eventos finales y primarios que lo conforman. De esta manera se generaron las acciones de mantenimiento que forman el plan de mantenimiento predictivo.

1 PRESENTACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

1.1 UBICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DE LA LÍNEA DECAPADO 2 DE SIDOR

La línea Decapado 2 se encuentra dividida en tres zonas, las cuales son: zona de entrada, zona centro y zona de salida.

La zona de entrada tiene como función desenrollar la bobina que viene del laminador en caliente y transportarla hacia los tanques de ácido, usando para esto los desenrolladores y el conjunto de bridas de tensión 1 y 2, las cuales poseen tres posiciones y dos posiciones respectivamente. En la zona centro es donde se realiza el proceso de inmersión de la banda en los tanques de ácido, en esta zona trabajan los

cabrestantes, los cuales permiten acumular el material para que el proceso de inmersión sea continuo, es decir no se detenga, ya que si esto sucede provocaría daños en el material, provocando baja calidad del mismo. Por último está la zona de salida donde la bobina es transportada por el conjunto de bridas 3, 4, 5 y 6, con dos posiciones cada una, pasando por los trozadores de chatarra, hasta los enrolladores para que nuevamente sea enrollada y luego ser transportada hacia los procesos de laminación en frío o para venta directa. A continuación se observa el layout realizado de la línea, donde se podrán observar las tres zonas descritas y la ubicación de sus equipos. (Ver gráfico 8).

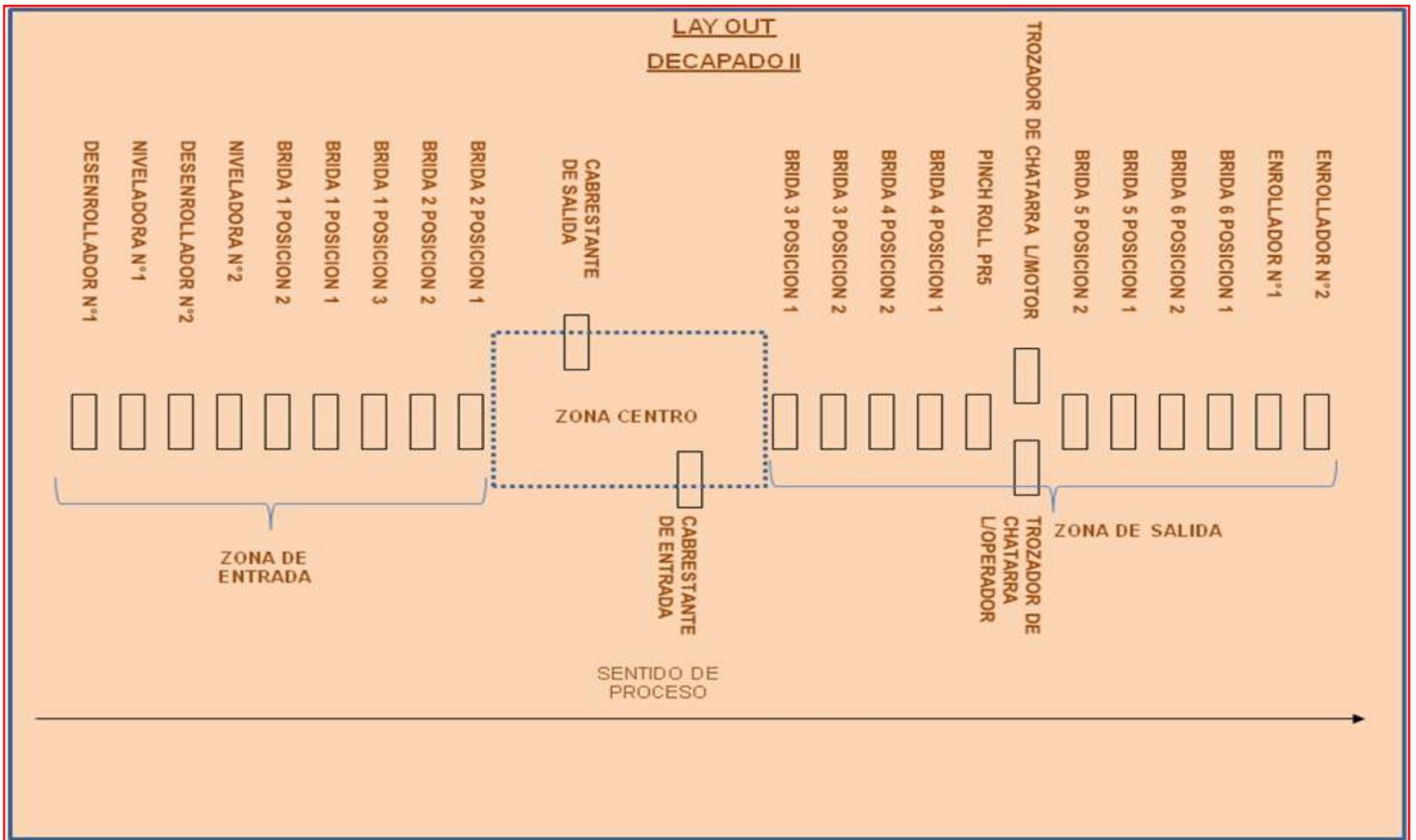


Gráfico 8: Layout DECAPADO II.

Fuente: Propia (20011)⁽²³⁾.

Los equipos de la línea se encuentran identificados a través de una codificación, que fue generada por la empresa, denominada ubicación técnica, en la cual se define la ubicación de la línea dentro de SIDOR, la zona del equipo y el TAG del equipo, y se presenta a continuación. (Ver tabla 5).

Tabla 5

Ubicación Técnica de los Equipos Principales de la Línea Decapado 2

EQUIPO	UBICACIÓN TECNICA
BRIDA 1 P1	PLC-DC2-ENTR-51750-P1
BRIDA 1 P2	PLC-DC2-ENTR-51750-P2
BRIDA 1 P3	PLC-DC2-ENTR-51750-P3
BRIDA 2 P1	PLC-DC2-ENTR-51883-P1
BRIDA 2 P2	PLC-DC2-ENTR-51883-P2
BRIDA 3 P1	PLC-DC2-SALI-52113-P1
BRIDA 3 P2	PLC-DC2-SALI-52113-P2
BRIDA 4 P1	PLC-DC2-SALI-52209-P1
BRIDA 4 P2	PLC-DC2-SALI-52209-P2
BRIDA 5 P1	PLC-DC2-SALI-52306-P1
BRIDA 5 P2	PLC-DC2-SALI-52306-P2
BRIDA 6 P1	PLC-DC2-SALI-52332-P1
BRIDA 6 P2	PLC-DC2-SALI-52332-P2
CABRESTANTE ENTRADA	PLC-DC2-CEPR-51831
CABRESTANTE SALIDA	PLC-DC2-CEPR-51784
DESENROLLADOR 1	PLC-DC2-ENTR-51410
DESENROLLADOR 2	PLC-DC2-ENTR-51520
ENROLLADOR 1	PLC-DC2-SALI-52403
ENROLLADOR 2	PLC-DC2-SALI-52463
TROZ. DE CHAT. L/BANDA DE CHATARRA	PLC-DC2-SALI-52245
TROZ. DE CHAT. L/PASILLO	PLC-DC2-SALI-52242

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

1.2 FUNCIONES DE LOS EQUIPOS

A continuación se describen los equipos principales de la línea y las funciones de estos dentro del proceso productivo.

- ❖ **Desenrolladores:** Los desenrolladores se encuentran compuestos por un motor, reductor de dos etapas, ventilador de enfriamiento y bomba de lubricación. Estos tienen como función principal desenrollar la bobina que viene de la cadena de entrada, esto se realiza a una velocidad variable, siendo la velocidad más alta cuando la bobina se ha desenrollado por completo.
- ❖ **Enrolladores:** Los enrolladores al igual que los desenrolladores poseen los mismos componentes, pero tienen como función principal enrollar nuevamente la bobina cuando ha culminado el proceso, luego esta es llevada por el carro portabobinas a la cadena de entrada y esta lo lleva a patio, sea para venta directa o para que continúe su tratamiento en otros procesos.
- ❖ **Bridas de Tensión:** Las bridas de tensión se encuentran compuestas por un motor eléctrico, un reductor, servofrenos y rodillos de trabajo. Su función principal es transportar la banda o lamina a lo largo del proceso y servir como puntos de anclaje para mantener la tracción en la banda.
- ❖ **Cabrestante de Entrada y de Salida:** Los cabrestantes de entrada y de salida son los encargados de acumular la lamina a medida que va pasando el proceso por la zona centro, para que esta no se detenga dentro de los tanques de acido, cuando se esté soldando las laminas provenientes de los desenrolladores, ya que si esto sucede provocaría daños en la lamina, provocando el descarte de la misma. Los cabrestantes se encuentran compuestos por motor eléctrico con ventilador de enfriamiento, servofreno, reductor planetario, reductor multietapa, rodillos, guayas de emergencia y bomba de lubricación.
- ❖ **Trozadores de Chatarra:** Los trozadores son los encargados de cortar los bordes de las láminas, según especificaciones del cliente. Están compuestos por motor eléctrico, reductor y bastidores.

1.3 MATRIZ DE VARIABLES

Con el propósito de analizar las técnicas bajo las cuales se realizó el monitoreo de condiciones para cada uno de los equipos, fue necesario conocer los valores límites de sus características o variables operativas. A continuación se presenta la matriz de variable para cada uno de los equipos bajo estudio. (Ver tabla 6).

Tabla 6

Matriz de Variables de los Equipos Principales de la Línea Decapado 2

EQUIPO	VARIABLES	UNIDAD	INSTRUMENTO	RANGO NORMAL	ESTADO	INSPECTOR
MOTOR ELECTRICO DESENRO- LLADORES	Ruido de elementos rodantes	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Velocidad del motor	RPM	Tacometro	300-1200	S	Electrico
	Aislamiento	Mohm	Megger	>5	F.S	Electrico
	Voltaje de linea	Voltios	Voltimetro	440	S	Electrico
	Consumo de corriente	Amper	Pinza	<=450	S	Electrico
	Temperatura de la carcasa	°C	Pirometro	<70	S	Electrico
	Temperatura de rodamientos	°C	Pirometro	<60	S	Electrico
	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Operador
	Condicion de arranque	N/A	N/A	Automatico	S	Operador
REDUCTOR DESENROLA- DORES	Temperatura del armario electrico	°C	C. Termografica	<100	S	Electrico
	Temperatura rodamientos	°C	Pirometro	<60	S	Electrico
	Niveles de vibracion eje de entrada	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Niveles de vibracion eje intermedio	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Niveles de vibracion eje de salida	mm/seg	Colector	<1.5	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de entrada	gE	Colector	<1.5	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje intermedio	gE	Colector	<1	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de salida	gE	Colector	<0.7	S	A. Vibraciones
	Nivel de aceite	%	N/A	60	S	Mecanico
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
MOTOR ELECTRICO ENRO-LLADORES	Acople motor-reductor	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Ruido de elementos rodantes	N/A	N/A	NORMAL	S	Electrico
	Velocidad del motor	RPM	Tacometro	300-1200	S	Electrico
	Aislamiento	Mohm	Megger	>5	F.S	Electrico
	Voltaje de linea	Voltios	Voltimetro	440	S	Electrico
	Consumo de corriente	Amper	Pinza	<=450	S	Electrico
	Temperatura de la carcasa	°C	Pirometro	<70	S	Electrico
	Temperatura de rodamientos	°C	Pirometro	<60	S	Electrico
	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Operador
REDUCTOR ENROLLADORES	Condicion de arranque	N/A	N/A	Automatico	S	Operador
	Temperatura del armario electrico	°C	C. Termografica	<100	S	Electrico
	Temperatura rodamientos	°C	Pirometro	<60	S	Electrico
	Niveles de vibracion eje de entrada	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Niveles de vibracion eje intermedio	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Niveles de vibracion eje de salida	mm/seg	Colector	<1.5	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de entrada	gE	Colector	<1.5	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje intermedio	gE	Colector	<1	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de salida	gE	Colector	<0.7	S	A. Vibraciones
	Nivel de aceite	%	N/A	60	S	Mecanico
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Acople motor-reductor	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico

Continuación Tabla 6: Matriz de Variables de los Equipos Principales de la Línea Decapado 2

VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO	Temperatura	°C	Pirometro	50	S	Electrico
	Consumo de corriente	Amper	Pinza	<8.5	S	Electrico
	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Colector	<5	S	A. Vibraciones
	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Colector	<5	S	A. Vibraciones
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Electrico
BOMBA DE LUBRICACION	Temperatura	°C	Pirometro	<70	S	Electrico
	Consumo de corriente	Amper	Pinza	<4.2	S	Electrico
	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Colector	<4	S	A. Vibraciones
	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Colector	<4	S	A. Vibraciones
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Electrico
	Presion de la bomba	bar	MANOMETRO	<2	S	Mecanico
	Flujo de aceite de la bomba	%	FLUJOMETRO	20	S	Mecanico
MOTOR ELECTRICO BRIDAS DE TENSION	Ruido de elementos rodantes	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Velocidad del motor	RPM	Tacometro	300-2100	S	Electrico
	Voltaje de linea	Voltios	Voltmetro	440	S	Electrico
	Consumo de corriente	Amper	Pinza	<=270	S	Electrico
	Temperatura de la carcasa	°C	Pirometro	<70	S	Electrico
	Temperatura de rodamientos	°C	Pirometro	<60	S	Electrico
	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Operador
	Condicion de arranque	N/A	N/A	Automatico	S	Operador
	Temperatura del armario electrico	°C	C. Termografica	<100	S	Electrico
REDUCTOR BRIDAS DE TENSION	Temperatura de carcasa	°C	Pirometro	<70	S	Mecanico
	Temperatura rodamientos	°C	Pirometro	<60	S	Mecanico
	Niveles de vibracion eje de entrada	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Niveles de vibracion eje de salida	mm/seg	Colector	<2	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de entrada	gE	Colector	<4	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de salida	gE	Colector	<1	S	A. Vibraciones
	Nivel de aceite	%	N/A	50	S	Mecanico
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Acople motor-reductor	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
SERVOFRENO	Zapatas servofreno	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
RODILLOS DE TRABAJO	Temperatura rodamientos	°C	Pirometro	<50	S	Mecanico
	Superficie del rodillo	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico

Continuación Tabla6: Matriz de Variables de los Equipos Principales de la Línea Decapado 2

MOTOR ELECTRICO TROZADORES DE CHATARRA	Ruido de elementos rodantes	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Velocidad del motor	RPM	Tacometro	300-1200	S	Electrico
	Voltaje de linea	Voltios	Voltimetro	440	S	Electrico
	Consumo de corriente	Amper	Pinza	<=270	S	Electrico
	Temperatura de la carcasa	°C	Pirometro	<60	S	Electrico
	Temperatura de rodamientos	°C	Pirometro	<50	S	Electrico
	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Colector	<4	S	A. Vibraciones
	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Colector	<4	S	A. Vibraciones
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Operador
	Condicion de arranque	N/A	N/A	Automatico	S	Operador
	Temperatura del armario electrico	°C	C. Termografica	<100	S	Electrico
REDUCTOR TROZADORES DE CHATARRA	Temperatura de carcasa	°C	Pirometro	<60	S	Mecanico
	Temperatura rodamientos	°C	Pirometro	<50	S	Mecanico
	Niveles de vibracion eje de entrada	mm/seg	Colector	<4	S	A. Vibraciones
	Niveles de vibracion eje de salida	mm/seg	Colector	<2	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de entrada	gE	Colector	<2	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de salida	gE	Colector	<1	S	A. Vibraciones
	Nivel de aceite	%	N/A	50	S	Mecanico
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Acople motor-reductor	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
BASTIDORES	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Nivel de aceite	%	N/A	60	S	Mecanico
	Temperatura de rodamientos	°C	Pirometro	<60		Mecanico
	Estado de tuberias	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
MOTOR ELECTRICO CABRESTANTE ENTRADA	Ruido de elementos rodantes	N/A	N/A	NORMAL	S	Electrico
	Velocidad del motor	RPM	Tacometro	300-800	S	Electrico
	Voltaje de linea	Voltios	Voltimetro	440	S	Electrico
	Consumo de corriente amadura	Amper	Pinza	<930	F.S	Electrico
	Consumo de corriente de campo	Amper	Pinza	<25	F.S	Electrico
	Temperatura de la carcasa	°C	Pirometro	<60	S	Electrico
	Temperatura de rodamientos	°C	Pirometro	<50	S	Electrico
	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Electrico
	Aterramiento	N/A	N/A	NORMAL	S	Electrico
	Temperatura del armario electrico	°C	C. Termografica	<100	S	Electrico

Continuación Tabla 6: Matriz de Variables de los Equipos Principales de la Línea Decapado 2

REDUCTORES CABRESTANTE DE ENTRADA Y SALIDA	Temperatura rodamientos	°C	Pirometro	<60	S	Mecanico
	Niveles de vibracion eje de entrada	mm/seg	Colector	<3	S	A. Vibraciones
	Niveles de vibracion ejes intermedios	mm/seg	Colector	<2	S	A. Vibraciones
	Niveles de vibracion eje de salida	mm/seg	Colector	<1	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de entrada	gE	Colector	<2	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje intermedio	gE	Colector	<1	S	A. Vibraciones
	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de salida	gE	Colector	<0.6	S	A. Vibraciones
	Nivel de aceite	%	N/A	60	S	Mecanico
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Fugas de aceite	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
SERVOFRENO	Ajuste tornillo andaje/acople	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Zapatillas servofreno	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Corriente nominal	Amper	Pinza	<1.6	S	Electrico
	Nivel de aceite	%	N/A	60	S	Mecanico
VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO	Temperatura	°C	Pirometro	<60	S	Mecanico
	Temperatura	°C	Pirometro	50	S	Electrico
	Consumo de corriente	Amper	Pinza	<8.5	S	Electrico
	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Colector	<5	S	A. Vibraciones
	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Colector	<5	S	A. Vibraciones
GUAYA DE EMERGENCIA	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Electrico
	Desgaste de Guayas	%	N/A	<7	S	Mecanico
	Aislante	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Conexiones	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
BOMBA DE LUBRICACION	Alimentacion	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Temperatura	°C	Pirometro	<70	S	Electrico
	Consumo de corriente	Amper	Pinza	<4.2	S	Electrico
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Electrico
	Presion de la bomba	bar	MANOMETRO	<1.5	S	Mecanico
MOTOR ELECTRICO CABRESTANTE SALIDA	Fugas de aceite	N/A	N/A	NORMAL	S	Mecanico
	Ruido de elementos rodantes	N/A	N/A	NORMAL	S	Electrico
	Velocidad del motor	RPM	Tacometro	300-800	S	Electrico
	Voltaje de linea	Voltios	Voltimetro	220	S	Electrico
	Consumo de corriente amadura	Amper	Pinza	<420	S	Electrico
	Consumo de corriente de campo	Amper	Pinza	<9.3	S	Electrico
	Temperatura de la carcasa	°C	Pirometro	<70	S	Electrico
	Temperatura de rodamientos	°C	Pirometro	<60	S	Electrico
	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Colector	<5	S	A. Vibraciones
	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Colector	<5	S	A. Vibraciones
	Condiciones generales del equipo	N/A	N/A	NORMAL	S	Electrico
	Aterramiento	N/A	N/A	NORMAL	S	Electrico
	Temperatura del armario electrico	°C	C. Termografica	<100	S	Electrico

Fuente: Propia. (2011)⁽²³⁾

DESCRIPCIÓN

La matriz presentada en el punto anterior identifica cada una de las variables sobre las cuales se debe tener control desde el punto de vista de operación y mantenimiento. Esta información es fundamental, ya que permite establecer las variables que indiquen las condiciones de la maquina, comprobar parámetros de funcionamiento, periodos de medición que permitan la detección de fallas, así como definir puntos de medición para obtener valores confiables que permiten la detección de defectos de los equipos; cada uno de estos aspectos permitirán la creación del manual de inspección que se propondrá en el capítulo siguiente.

Las inspecciones de los equipos se realizaran siguiendo el estándar de inspección, el cual indicara todas las inspecciones a realizar sobre el equipo, la frecuencia de inspección, el método y el punto a inspeccionar. Así mismo las inspecciones se clasificaran según la operatividad de los equipos, la inspección rutinaria se realizara con el equipo en servicio y la inspección especial cuando el equipo este fuera de operación.

1.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad se realizo con el propósito de seleccionar el equipo crítico de la línea, sobre el cual se centrara el plan de mantenimiento por condición.

Esta metodología permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, por esto para realizar el análisis de criticidad se estableció el alcance y el propósito para el análisis, así como los criterios de evaluación.

Teniendo los conocimientos claros de como realizar el análisis de criticidad se formo el equipo de trabajo con los encargados de la línea de producción Decapado 2, tanto de mantenimiento como de operación, los cuales serán los encargados de

evaluar cada uno de los equipos, tomando en cuenta la información histórica de cada uno de ellos.

La línea de producción Decapado 2 cuenta con 88 equipos funcionando actualmente, de los cuales se escogieron los más importantes para el análisis de criticidad bajo la supervisión de los ingenieros de producción y mantenimiento. (Ver tabla 7)

Tabla 7
Equipos Seleccionados para el Analisis de Criticidad

EQUIPO	UBICACIÓN TECNICA
BRIDA 1 P1	PLC-DC2-ENTR-51750-P1
BRIDA 1 P2	PLC-DC2-ENTR-51750-P2
BRIDA 1 P3	PLC-DC2-ENTR-51750-P3
BRIDA 2 P1	PLC-DC2-ENTR-51883-P1
BRIDA 2 P2	PLC-DC2-ENTR-51883-P2
BRIDA 3 P1	PLC-DC2-SALI-52113-P1
BRIDA 3 P2	PLC-DC2-SALI-52113-P2
BRIDA 4 P1	PLC-DC2-SALI-52209-P1
BRIDA 4 P2	PLC-DC2-SALI-52209-P2
BRIDA 5 P1	PLC-DC2-SALI-52306-P1
BRIDA 5 P2	PLC-DC2-SALI-52306-P2
BRIDA 6 P1	PLC-DC2-SALI-52332-P1
BRIDA 6 P2	PLC-DC2-SALI-52332-P2
CABRESTANTE ENTRADA	PLC-DC2-CEPR-51831
CABRESTANTE SALIDA	PLC-DC2-CEPR-51784
DESENROLLADOR 1	PLC-DC2-ENTR-51410
DESENROLLADOR 2	PLC-DC2-ENTR-51520
ENROLLADOR 1	PLC-DC2-SALI-52403
ENROLLADOR 2	PLC-DC2-SALI-52463
TROZ. DE CHAT. L/BANDA DE CHATARRA	PLC-DC2-SALI-52245
TROZ. DE CHAT. L/PASILLO	PLC-DC2-SALI-52242

Fuente: Propia. (2011)⁽²³⁾

La elaboración del análisis de criticidad se realizó a través de un formato de encuesta, que permitió recoger la información de parte de los ingenieros, técnicos y operarios. Esta encuesta está compuesta de 6 preguntas, las cuales tienen una serie de respuestas, cada una con ponderaciones diferentes. (Ver tablas 8 y 9, respectivamente)

Tabla 8

Formato para Encuesta Analisis de Criticidad

FORMATO PARA ENCUESTA ANÁLISIS DE CRITICIDAD																					
PERSONA _____ ÁREA O SECCIÓN _____																					
EQUIPO _____ FECHA _____																					
1. FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA). <table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>No más de 1 por año</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Entre 2 y 15 por año</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Entre 16 y 30 por año</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Entre 31 y 50 por año</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Más de 50 por año (Más de una parada semanal)</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	No más de 1 por año	<input type="checkbox"/>	Entre 2 y 15 por año	<input type="checkbox"/>	Entre 16 y 30 por año	<input type="checkbox"/>	Entre 31 y 50 por año	<input type="checkbox"/>	Más de 50 por año (Más de una parada semanal)	2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. MTTR. <table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Menos de 4 horas</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Entre 4 y 8 horas</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Entre 8 y 24 horas</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Entre 24 y 48 horas</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Más de 48 horas</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Menos de 4 horas	<input type="checkbox"/>	Entre 4 y 8 horas	<input type="checkbox"/>	Entre 8 y 24 horas	<input type="checkbox"/>	Entre 24 y 48 horas	<input type="checkbox"/>	Más de 48 horas
<input type="checkbox"/>	No más de 1 por año																				
<input type="checkbox"/>	Entre 2 y 15 por año																				
<input type="checkbox"/>	Entre 16 y 30 por año																				
<input type="checkbox"/>	Entre 31 y 50 por año																				
<input type="checkbox"/>	Más de 50 por año (Más de una parada semanal)																				
<input type="checkbox"/>	Menos de 4 horas																				
<input type="checkbox"/>	Entre 4 y 8 horas																				
<input type="checkbox"/>	Entre 8 y 24 horas																				
<input type="checkbox"/>	Entre 24 y 48 horas																				
<input type="checkbox"/>	Más de 48 horas																				
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN <table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>No afecta la producción</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>25% de impacto</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>50% de impacto</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>75% de impacto</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>La afecta totalmente</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	No afecta la producción	<input type="checkbox"/>	25% de impacto	<input type="checkbox"/>	50% de impacto	<input type="checkbox"/>	75% de impacto	<input type="checkbox"/>	La afecta totalmente	4. COSTO DE REPARACIÓN <table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Menos de 3 millones</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Entre 3 y 15 millones</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Entre 15 y 35 millones</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Más de 35 millones</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Menos de 3 millones	<input type="checkbox"/>	Entre 3 y 15 millones	<input type="checkbox"/>	Entre 15 y 35 millones	<input type="checkbox"/>	Más de 35 millones		
<input type="checkbox"/>	No afecta la producción																				
<input type="checkbox"/>	25% de impacto																				
<input type="checkbox"/>	50% de impacto																				
<input type="checkbox"/>	75% de impacto																				
<input type="checkbox"/>	La afecta totalmente																				
<input type="checkbox"/>	Menos de 3 millones																				
<input type="checkbox"/>	Entre 3 y 15 millones																				
<input type="checkbox"/>	Entre 15 y 35 millones																				
<input type="checkbox"/>	Más de 35 millones																				
5. IMPACTO AMBIENTAL <table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>No origina ningún impacto ambiental</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios</td></tr> </table>		<input type="checkbox"/>	No origina ningún impacto ambiental	<input type="checkbox"/>	Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta	<input type="checkbox"/>	Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta	<input type="checkbox"/>	Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios												
<input type="checkbox"/>	No origina ningún impacto ambiental																				
<input type="checkbox"/>	Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta																				
<input type="checkbox"/>	Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta																				
<input type="checkbox"/>	Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios																				
6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL <table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>No origina heridas ni lesiones</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente</td></tr> </table>		<input type="checkbox"/>	No origina heridas ni lesiones	<input type="checkbox"/>	Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes	<input type="checkbox"/>	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días	<input type="checkbox"/>	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente												
<input type="checkbox"/>	No origina heridas ni lesiones																				
<input type="checkbox"/>	Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes																				
<input type="checkbox"/>	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días																				
<input type="checkbox"/>	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente																				

Fuente: Propia. (2011)⁽²³⁾

Tabla 9

Ponderaciones de los Parámetros para el Analisis de Criticidad

1. FRECUENCIA DE FALLA (Todo tipo de falla)	Puntaje
No más de 1 por año	1
Entre 2 y 15 por año	2
Entre 16 y 30 por año	3
Entre 31 y 50 por año	4
Más de 50 por año (Más de una parada semanal)	5
2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	Puntaje
Menos de 4 horas	1
Entre 4 y 8 horas	2
Entre 8 y 24 horas	3
Entre 24 y 48 horas	4
Más de 48 horas	5
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN (Por el número de fallas al año F)	Puntaje
No afecta la producción	0,05F
25% de impacto	0,3F
50% de impacto	0,5F
75% de impacto	0,8F
La afecta totalmente	1F
4. COSTOS DE REPARACIÓN	Puntaje
Menos de 3 millones	3
Entre 3 y 15 millones	5
Entre 15 y 35 millones	10
Más de 35 millones	25
5. IMPACTO AMBIENTAL	Puntaje
No origina ningún impacto ambiental	0
Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de la planta	5
Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta	10
Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad	25
6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	Puntaje
No origina heridas ni lesiones	0
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes	5
Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días	10
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente	25

Fuente: Propia. (2011)⁽²³⁾

Una vez recolectada toda la información de cada una de las encuestas, los resultados son clasificados en una hoja de cálculo, donde se obtiene el valor de criticidad del equipo, promediando los resultados de cada integrante del grupo de trabajo y usando la ecuación matemática “*criticidad=frecuencia de falla x consecuencia*”, donde consecuencia=a+b, a=costo de reparación + impacto en SHA y b=impacto en la producción x tiempo promedio para reparar. Como ejemplo se presentan los resultados obtenidos para el cabrestante de entrada. Así mismo se presentan los resultados del análisis de criticidad para cada uno de los equipos. (Ver tabla 10 y 11, respectivamente).




Tabla 10
Resultados Analisis de Criticidad Cabrestante de Entrada

RESULTADOS ANALISIS DE CRITICIDAD: CABRESTANTE DE ENTRADA						
PERSONA ENTREVISTADA	1. FRECUENCIA DE FALLA	2. MTTR	3. IMPACTO EN PRODUCCION	4.COSTO DE REPARACION	5. IMPACTO AMBIENTAL	6. IMPACTO SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL
SUPERINTENDENTE DE MANTENIMIENTO	3	4	18	10	10	5
SUPERINTENDENTE DE OPERACIONES	3	3	14,4	10	10	5
JEFE DE PLANTA DE TURNO	3	3	14,4	10	10	5
JEFE MANTENIMIENTO MECANICO	3	4	14,4	5	10	5
SUPERVISOR OPERATIVO	3	4	14,4	5	10	5
LIDER DE GTMECANICOS	3	3	9	5	10	5
OPERARIO DEL AREA	3	4	14,4	5	10	5
OPERARIO DEL AREA	3	4	14,4	10	10	5
OPERARIO DEL AREA	3	3	9	10	10	5
MECANICO DEL AREA	2	3	14,4	5	10	5
MECANICO DEL AREA	2	3	14,4	5	10	5
MECANICO DEL AREA	2	3	14,4	5	10	5
RESULTADOS PROMEDIADOS	2,75	3,42	13,80	7,08	10,00	5,00

Fuente: Propia. (2011)⁽²³⁾

Tabla 11
Resultados Analisis de Criticidad de los Equipos Principales Decapado 2

RESULTADOS ANALISIS DE CRITICIDAD							
EQUIPO	1. FRECUENCIA DE FALLA	2. MTTR	3. IMPACTO EN PRODUCCION	4.COSTO DE REPARACION	5. IMPACTO AMBIENTAL	6. IMPACTO SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	CRITICIDAD
CABRESTANTE DE ENTRADA	2,75	3,42	13,8	7,08	10	5	190,509
CABRESTANTE DE SALIDA	2,6	3	6	5	5	5	85,8
DESENROLLADOR 1	2,6	3	6	5	5	5	85,8
DESENROLLADOR 2	2,6	3	6	5	5	5	85,8
ENROLLADOR 1	2,4	3	6	5	5	5	79,2
ENROLLADOR 2	2,4	3	6	5	5	5	79,2
TROZ. DE CHAT. L/BANDA DE CHATARR	2,4	2	6	3	5	5	60
TROZ. DE CHAT. L/PASILLO	2,4	2	6	3	5	5	60
BRIDA 1 P1	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 1 P2	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 1 P3	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 2 P1	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 2 P2	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 3 P1	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 3 P2	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 4 P1	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 4 P2	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 5 P1	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 5 P2	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 6 P1	2	2	4	3	0	5	32
BRIDA 6 P2	2	2	4	3	0	5	32

 Equipo criticidad baja
  Equipo criticidad media
  Equipo criticidad alta

Fuente: Propia. (2011)⁽²³⁾

DESCRIPCIÓN


El análisis de criticidad nos permitió jerarquizar los equipos de la línea Decapado 2, obteniendo del análisis mostrado en el punto anterior que el sistema crítico resulto ser el cabrestante de entrada, por lo tanto el plan de mantenimiento se centrara en las acciones necesarias para minimizar las fallas de cada uno de los componentes de este equipo.

1.5 ANÁLISIS DEL MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE FALLA (FMECA)

El FMECA se realizo con el propósito de determinar el efecto de cada falla que se produce sobre cada uno de los componentes del sistema, para así proponer las acciones necesarias para minimizar estos efectos. A través de este análisis se estudiaron las fallas potenciales, a partir de los efectos que ocasionan sobre el equipo, cuantificándose a través de una tabla de severidad, las posibles causas que pueden generar la falla, siendo ponderadas en una tabla de ocurrencia y como se pueden detectar a través de una tabla de detección. Cada una de estas tablas presentan varios niveles, los cuales se enumeran del 1 al 10. (Ver tabla 1, 2 y 3, respectivamente). La multiplicación de estos tres elementos determinan la criticidad de la falla potencial del equipo. A continuación se presentan el FMECA de cada uno de los componentes del sistema en estudio. (Ver Tabla 12)

Tabla 12

FMECA Sistema Cabrestante de Entrada. Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

<div>  SISTEMA CABRESTANTE DE ENTRADA </div>								
COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLAS FUNCIONALES	CAUSAS	SEVERIDAD	OCURRENCIA	MÉTODO DE DETECCIÓN	DETECCIÓN	TOTAL
Motor	Hacer girar la caja de engranaje a una velocidad maxima de 800 RPM con una potencia de 198 kW	A.- No transmite velocidad al reductor.	1.-. Falla de rodamientos	8	4	Vibraciones, Temperatura	2	64
			2.-. Falla de lubricación	8	4	Inspección Visual	2	64
			3.-. Falla del acoplamiento motor-reductor	7	2	Inspección Visual - Vibraciones	2	28
			4.-. Falla del reductor	8	3	Vibraciones, Temperatura	2	48
			5.-. Falla en armario de potencia	9	6	Temperatura, instrumentos	2	108
Reductor	Transmitir la potencia mecánica del motor eléctrico al rodillo de trabajo, reduciendo la velocidad por medio de sus multiples etapas de 800 a 100 RPM.	A.-. No transmite potencia mecánica al rodillo.	1.-. Falla de engranajes	8	2	Vibraciones	2	32
			2.-. Falla de rodamientos	8	4	Vibraciones, Temperatura	2	64
			3.-. Falla de lubricación	8	3	Inspección Visual	2	48
			4.-. Falla del acoplamiento reductor-piñón-corona	7	2	Inspección Visual - Vibraciones	2	28
			5.-. Falla del eje de salida	8	2	Vibraciones	2	32
		B.-. No recibe la potencia mecánica transmitida por el motor eléctrico.	1.-. Falla del eje de entrada	8	2	Vibraciones	2	32
			2.-. Falla de rodamientos	9	4	Vibraciones, Temperatura	2	72
			3.-. Falla de lubricación	8	3	Inspección Visual	2	48
			4.-. Falla del acoplamiento motor-reductor	7	2	Inspección Visual - Vibraciones	2	28
			5.-. Falla del motor eléctrico	9	2	Técnicas predictivas	1	18
		C.-. Vibraciones mayores a 3 mm/seg	1.-. Desalineacion Motor reductor	7	5	Inspeccion Visual-Vibraciones	2	70
			2.-. Desalineacion Reductor-Rodillo	7	2	Inspeccion Visual-Vibraciones	2	28
			3.-. Soltura de Tornilleria del anclaje de la base del reductor	8	4	Inspeccion Visual	2	64
			4.-. Rotura o desgaste del acople	7	2	Inspeccion Visual	2	28
			5.-. Falla en rodamientos.	8	3	Vibraciones, Temperatura	2	48
Servofreno	Detener la inercia remanente del motor, cuando este obtiene una velocidad tangencial de 5 m/min	A.- No detiene el motor	1.- Falta del liquido dielectrico	7	2	Inspección Visual - Vibraciones	2	28
			2.- Zapata desgastada	7	2	Vibraciones	2	28
			3.- Mala calibracion	7	2	Vibraciones	2	28
			4.- Desajuste mecánico	7	2	Inspección Visual - Temperatura	2	28
				7	2		2	28
Ventilador de Enfriamiento	Su principal funcion es evitar el recalentamiento del motor	A.- No mantiene la temperatura del motor	1.- Falla del motor electrico	8	4	Vibraciones- Temperatura	2	64
			2.- Falla del acople motor-ventilador	8	3	Vibraciones, Temperatura	2	48
			3.- Falla del ventilador	8	3	Técnicas predictivas	2	48
				8	3		2	48
Bomba de Lubricación	Lubricar los rodamientos y engranes del reductor	A.- La temperatura del lubricante supera los 70 °C	1.- Falla en los rodamientos	10	2	Vibraciones, Temperatura	2	40
			2.- Falla en intercambiadores	4	3	Temperatura, presion	2	24
			3.- Falla en bombas	7	5	Técnicas predictivas	1	35
			4.- Falla en motores	7	5	Técnicas predictivas	1	35
		B.- La presión de descarga en la bomba es inferior a 1,2 bar	1.- Falla en Bomba	7	5	Técnicas predictivas	1	35
			2.- Falla en motor	7	5	Técnicas predictivas	1	35
			1.- Obstrucción en líneas de entrada	7	5	Presión, inspección visual	2	70
			2.- Fugas en en sistema	6	5	Presión, inspección visual	2	60
		C.- No lubrica los rodamientosni engranes	3.- Falla en bomba	7	5	Técnicas predictivas	1	35
			4.- Falla en motor	7	5	Técnicas predictivas	1	35

DESCRIPCIÓN

La aplicación del FMECA permitió identificar las fallas más resaltantes en el sistema cabrestante de entrada de la línea Decapado2, y su efecto sobre este. Se puede observar que la falla más importante aparece en el motor eléctrico, seguido del reductor y por último la bomba de lubricación. Teniendo identificadas estas fallas se procedió a realizar la cuantificación del árbol, el cual arroja los eventos primarios que las provocan.

1.6 ÁRBOL DE FALLA

El análisis cuantitativo a través de esta técnica tuvo como propósito la identificación y representación en forma lógica de la secuencia de eventos que provocan las fallas principales del sistema, estableciéndose una relación lógica entre los eventos iniciales y el evento final.

Para poder desarrollar el árbol se identificaron cada uno de los niveles de eventos que provocan las fallas de los componentes del sistema, considerando como eventos finales las tres fallas principales encontradas a través del FMECA, en el motor, reductor y bomba de lubricación; los cuales se fueron desarrollando, permitiendo la creación de subárboles, hasta llegar a los eventos primarios.(Ver Gráfico 9, 10 y 11, respectivamente).

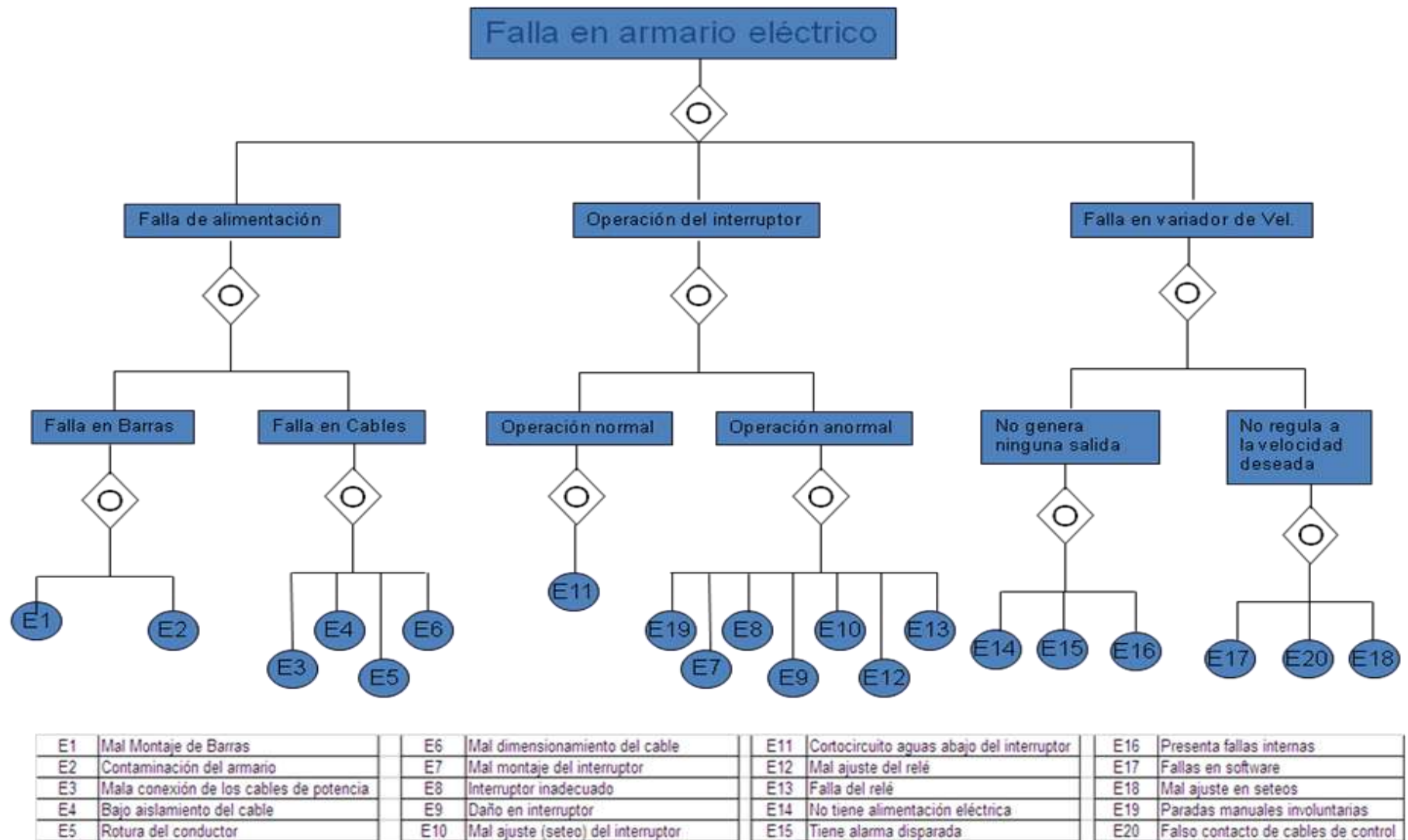


Gráfico 9: Secuencia de Eventos Falla Armario Eléctrico Motor del Cabrestante de Entrada.

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾.

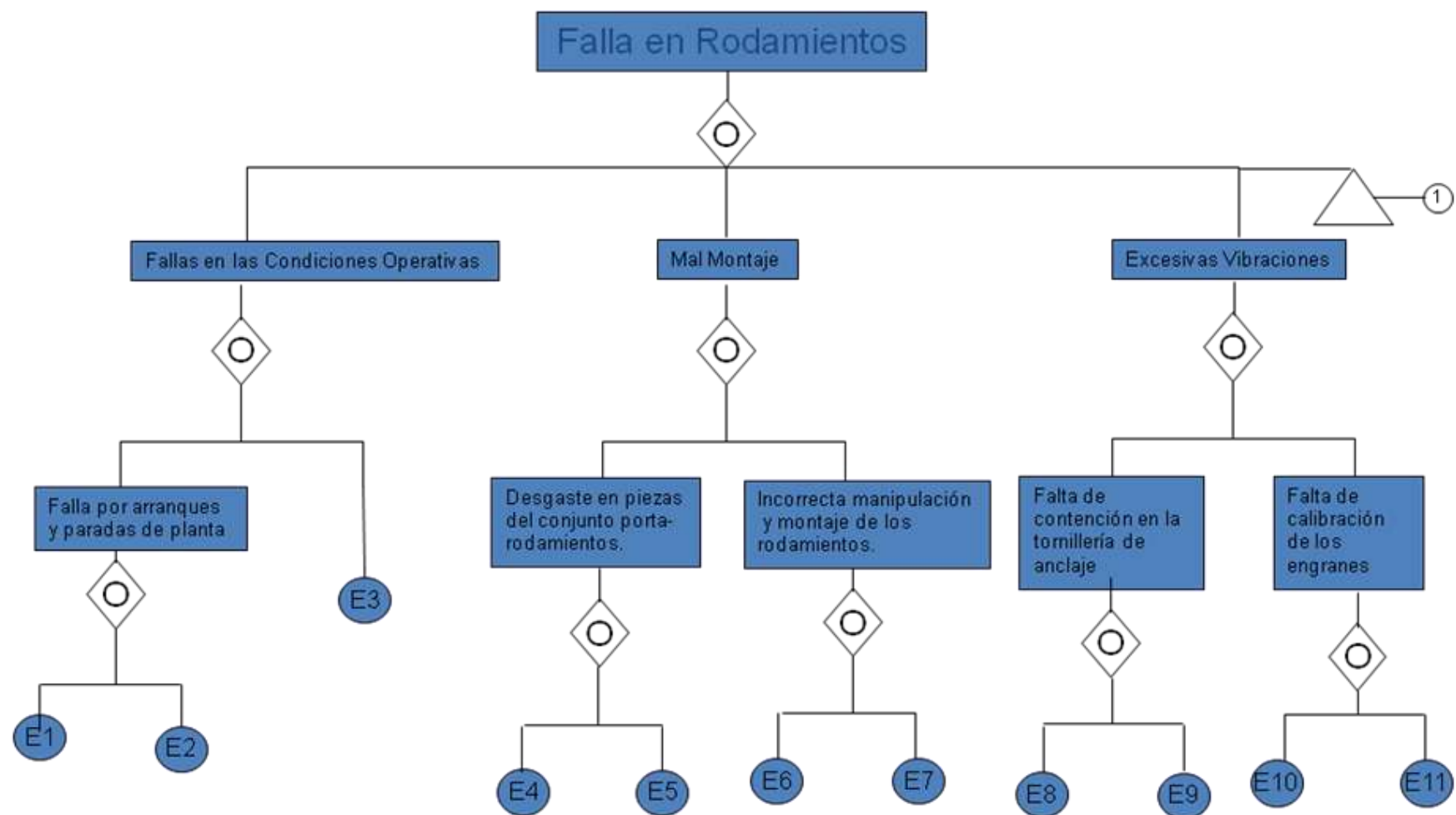
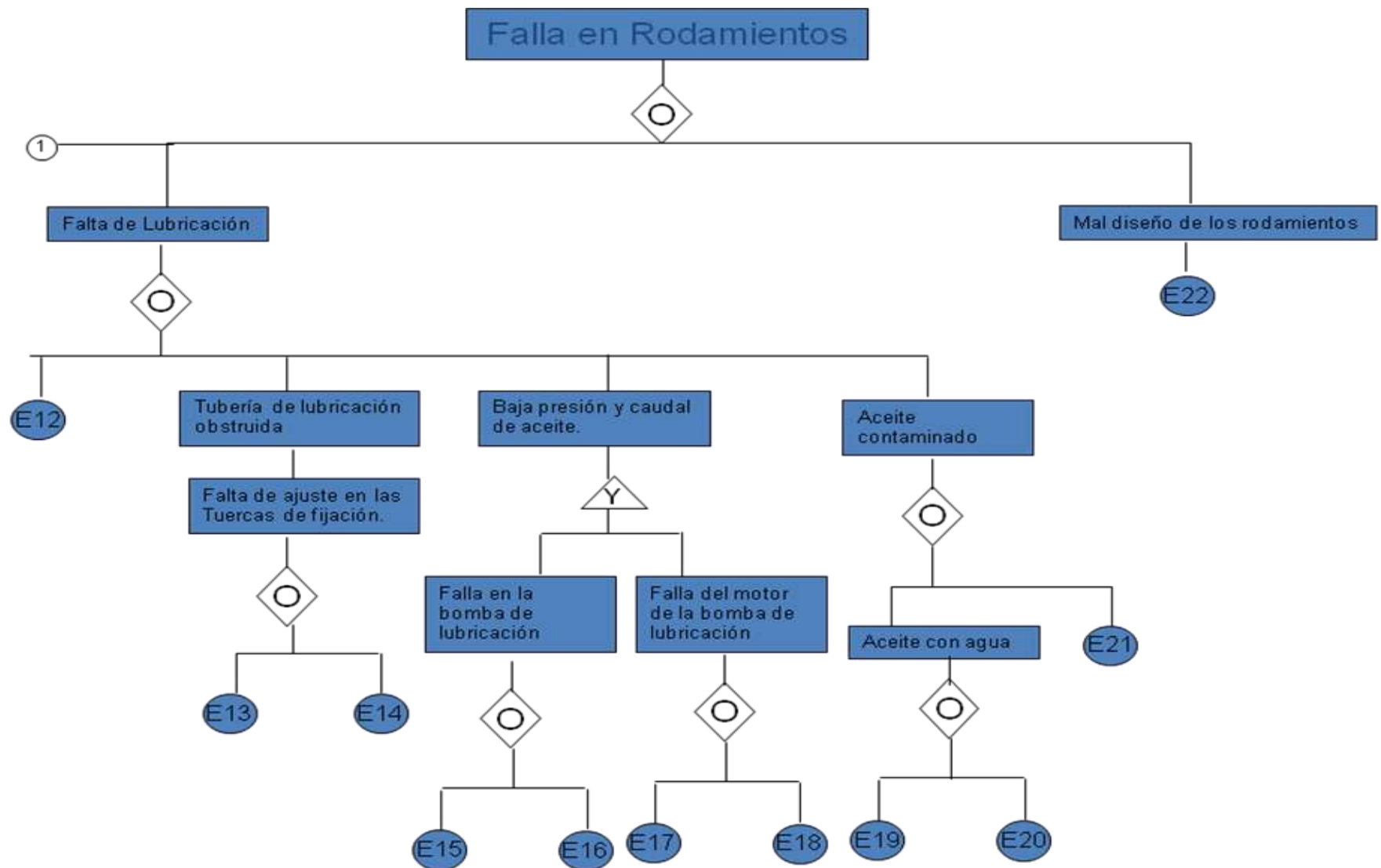


Gráfico 10: Secuencia de Eventos Falla Rodamientos Reductor del Cabrestante de Entrada.

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾.



Evento	Descripción	Evento	Descripción
E1	Falla de equipos de la planta	E12	Toberas de lubricación obstruida
E2	Problemas en la línea	E13	No tener las herramientas adecuadas
E3	Falla por Sobrecarga de flujo, presión de descarga y diferencial	E14	No seguir procedimientos de montaje
E4	Corrosión de contacto por aceite contaminado con agua	E15	Rotura de los engranajes de la bomba mecánica
E5	Falta de Lubricación	E16	Rotura de los rodamientos de la bomba mecánica
E6	Falta de capacitación del personal en el montaje de los rodamientos	E17	Falla en el motor eléctrico de la bomba eléctrica
E7	Mal almacenaje de los rodamientos	E18	Falla en el acople
E8	Desajuste mecánico de la tornillería de anclaje	E19	Rotura en el intercambiador de agua
E9	Fractura en los pernos de anclaje por sobrecarga del reactor	E20	Falta de hermetismo del depósito de aceite
E10	Mal armado de los ejes	E21	Aceite con exceso de partículas por desgaste en componentes metálicos
E11	Desgaste en los engranajes de sincronismo	E22	Rodamientos diseñados con Jaula de latón apernada

Gráfico 10: Secuencia de Eventos Falla Rodamientos Reductor del Cabrestante de Entrada.

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾.



Gráfico 11: Secuencia de Eventos Falla Obstrucción de líneas Bomba de Lubricación del Cabrestante de Entrada.

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾.

Para la cuantificación del árbol de falla se identificaron los eventos primarios, y se determinaron las frecuencias de ocurrencia con el apoyo del personal de la línea, esta frecuencia permitió determinar la probabilidad de ocurrencia de falla del equipo.

Con la identificación de los eventos primarios se determinaron los conjuntos mínimos de corte y su probabilidad de ocurrencia, para así definir cual tenía mayor impacto en la disponibilidad del sistema. A continuación se muestra la cuantificación de cada uno de los árboles de falla mostrados anteriormente. (Ver tablas 13, 14 y 15, Gráficos 12 y 13, respectivamente)

Tabla 13

Cuantificación Árbol de Falla Armario del Motor Eléctrico del Sistema

Evento	Descripción	λ	Probabilidad $q_i = 1 - e^{-\lambda t}$
E1	Mal montaje de barras	0,0200	0,01980
E2	Contaminación del armario	0,1111	0,10515
E3	Mala conexión de los cables de potencia	0,0667	0,06452
E4	Bajo aislamiento del cable	0,1429	0,13316
E5	Rotura del conductor	0,0500	0,04877
E6	Mal dimensionamiento del cable	0,0200	0,01980
E7	Mal montaje del interruptor	0,0500	0,04877
E8	Interruptor inadecuado	0,0500	0,04877
E9	Daño interruptor	0,0667	0,06452
E10	Mal ajuste (seteo) del interruptor	0,0500	0,04877
E11	Cortocircuito aguas abajo del interruptor	0,3330	0,28323
E12	Mal ajuste del rele	0,3333	0,28344
E13	Falla del rele	0,1250	0,11750
E14	No tiene alimentación eléctrica	0,0500	0,04877
E15	Tiene alarma disparada	0,0333	0,03275
E16	Presenta fallas internas	0,0200	0,01980
E17	Falla en software	0,0250	0,02469
E18	Mal ajuste en seteo	0,0330	0,03246
E19	Paradas manuales involuntarias	0,0200	0,01980
E20	Falso contacto de cables de control	0,2000	0,18127

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

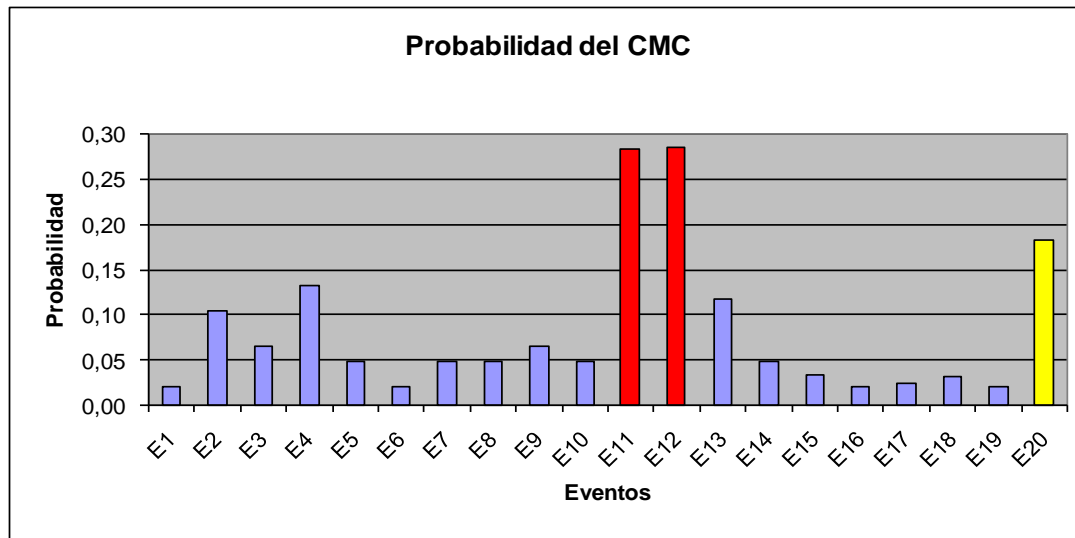


Gráfico 12: Probabilidad del Conjunto Mínimo de Corte

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾.

Tabla 14

Cuantificación Árbol de Falla Rodamientos del Reductor del Sistema

Evento	Descripción	Falla/mes	Probabilidad $q_i = 1 - e^{-\lambda t}$
E1	Falla de equipos de la planta	0,0083	0,0083
E2	Problemas en la línea	0,0083	0,0083
E3	Falla por Sobrecarga	0,166	0,1530
E4	Corrosión de contacto por aceite contaminado con agua	0,016	0,0159
E5	Falta de Lubricación	0,3	0,2592
E6	Falta de capacitación del personal en el montaje de los rodamientos	0,0041	0,0041
E7	Mal almacenaje de los rodamientos	0,0041	0,0041
E8	Desajuste mecánico de la tornillería de anclaje	0,025	0,0247
E9	Fractura en los pernos de anclaje por sobrecarga	0,083	0,0796
E10	Mal armado de los ejes	0,0041	0,0041
E11	Desgaste en los engranajes de sincronismo	0,016	0,0159
E12	Toberas de lubricación obstruida	0,016	0,0159
E13	No tener las herramientas adecuadas	0,0041	0,0041
E14	No seguir procedimientos de montaje	0,0041	0,0041
E15	Rotura de los engranajes de la bomba mecánica	0,0083	0,0083
E16	Rotura de los rodamientos de la bomba mecánica	0,0083	0,0083
E17	Falla en el motor eléctrico de la bomba	0,0083	0,0083
E18	Falla del acople	0,0083	0,0083
E19	Rotura en el intercambiador de agua	0,016	0,0159
E20	Falta de hermetismo del depósito de aceite	0,0083	0,0083
E21	Aceite con exceso de partículas por desgaste en componentes metálicos	0,3	0,2592
E22	Rodamientos diseñados con Jaula de latón apernada	0,25	0,2212

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾.

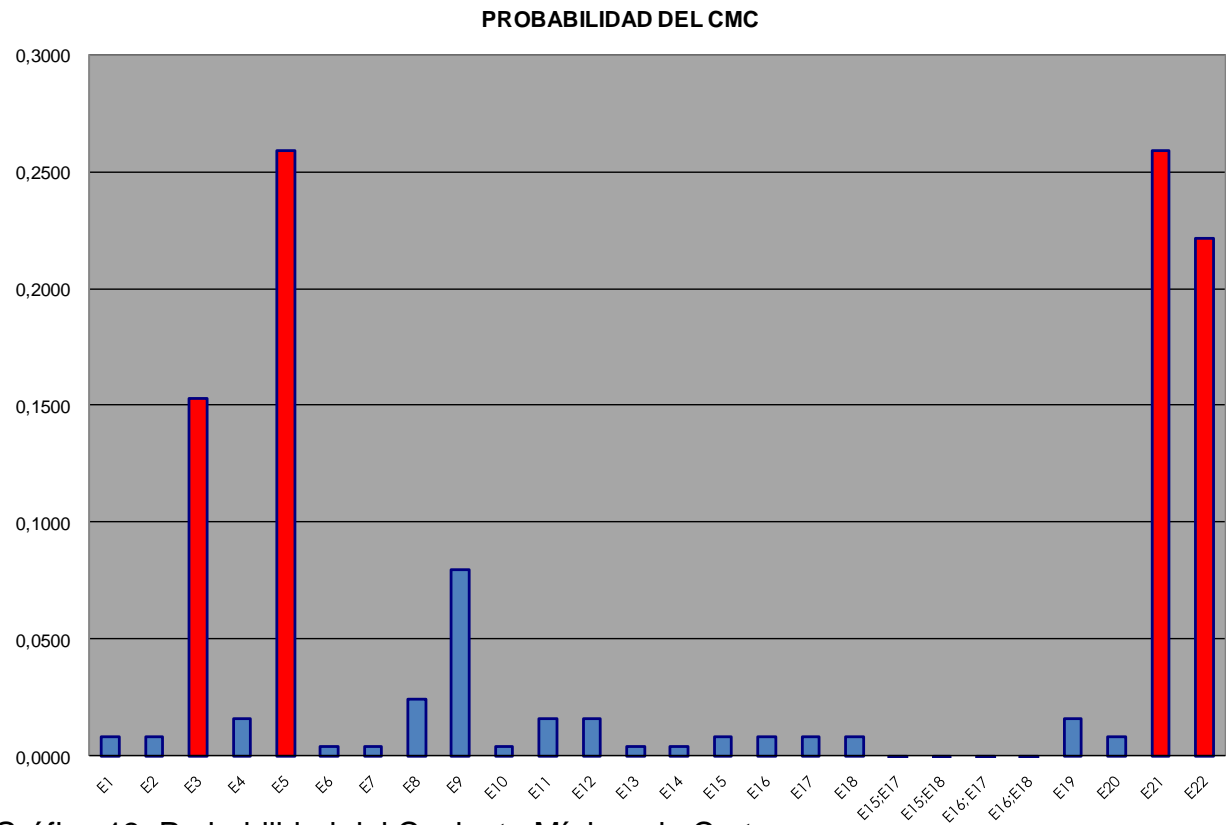


Gráfico 13: Probabilidad del Conjunto Mínimo de Corte

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾.

Tabla 15

Cuantificación Árbol de Falla Obstrucción de líneas de la Bomba de Lubricación del Sistema

Evento	Descripción	λ	Probabilidad $q_i = 1 - e^{-\lambda t}$
E1	Exceso de Partículas	0,5000	0,39347

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾.

DESCRIPCIÓN

El desarrollo del árbol de falla para cada componente del sistema permitió conocer que cada una de las fallas principales tiene eventos primarios que ponen en riesgo la disponibilidad del sistema. Así mismo se determinó la probabilidad de

ocurrencia de los eventos primarios, mediante la recolección e investigación del comportamiento del sistema y su historial de falla.

En la siguiente tabla se clasificaron los conjuntos mínimos de mayor impacto sobre el sistema, estos fueron categorizados de acuerdo a los eventos que presentan mayor probabilidad de ocurrencia en cada uno de los arboles. (Ver tabla 16)

Tabla 16

Eventos más Impactantes del Sistema en estudio.

Evento	Descripción	Falla/mes	Probabilidad $q_i = 1 - e^{-\lambda t}$
Motor Electrico			
E11	Cortocircuito aguas abajo del interruptor	0,3330	0,28323
E12	Mal ajuste del rele	0,3333	0,28344
Reductor			
E3	Falla por Sobrecarga	0,166	0,1530
E5	Falta de Lubricación	0,3	0,2592
E21	Aceite con exceso de partículas por desgaste en componentes metálicos	0,3	0,2592
E22	Rodamientos diseñados con Jaula de latón apenada	0,25	0,2212
Bomba de Lubricacion			
E1	Exceso de Particulas	0,5000	0,39347

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾.

1.7 CURVAS DE COMPORTAMIENTO

Como se determinó a través del FMECA y el árbol de fallas, una de las fallas más impactantes ocurren sobre el reductor del sistema, específicamente en sus rodamientos. Por lo tanto se definió iniciar monitoreo de los mismos, desarrollando la técnica del análisis de vibraciones, usando como colector el equipo MTI, apoyado con su software Labsys. A continuación se podrán observar las tendencias arrojadas por las diferentes mediciones realizadas sobre este componente. (Ver Gráficos 14 y 15, respectivamente)

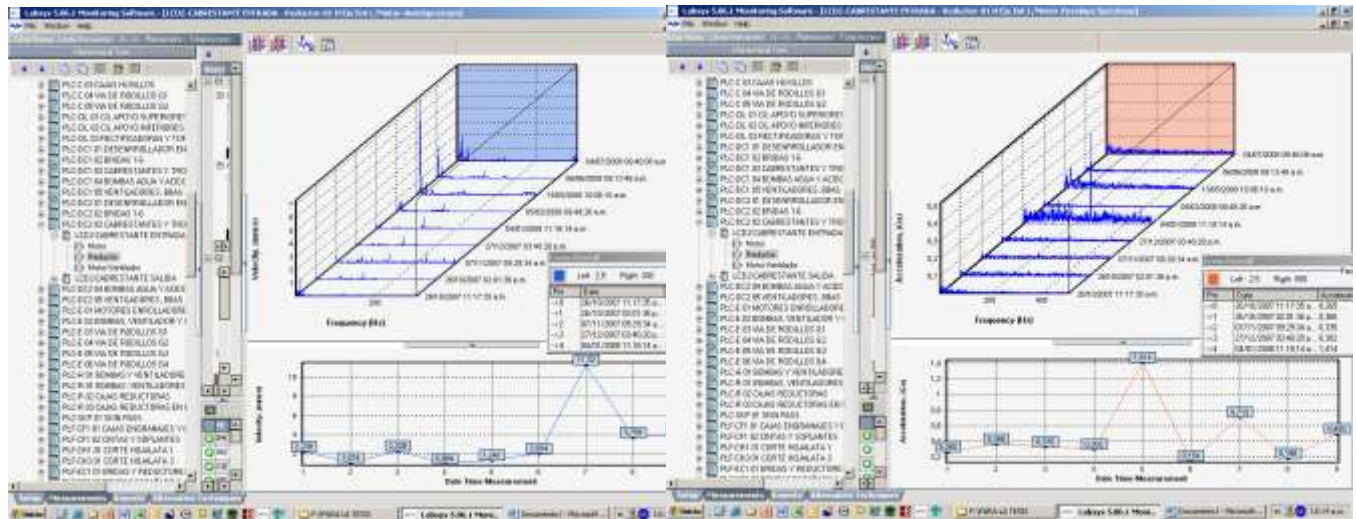


Gráfico 14: Tendencia Reductor Eje de Entrada

Fuente: Labsys MTI (2011)⁽²³⁾.

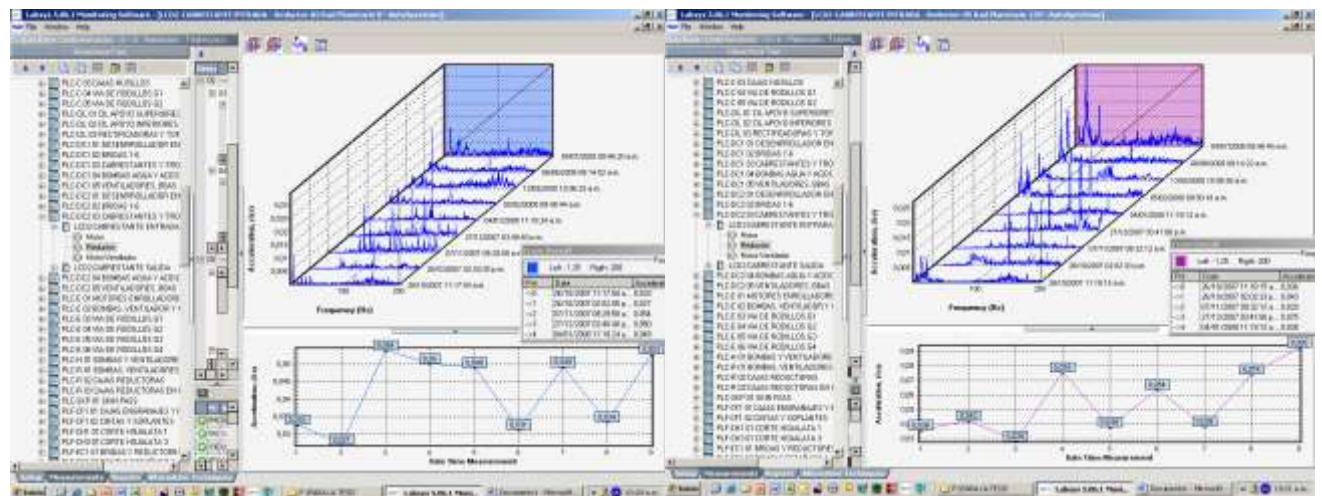


Gráfico 15: Tendencia Reductor Sistema Planetario

Fuente: Labsys MTI (2011)⁽²³⁾.

DESCRIPCIÓN

A través del uso de sistemas de recolección de datos para el análisis de vibraciones, se permite llevar una tendencia del comportamiento del equipo, para así determinar a tiempo posibles fallas de sus componentes internos. De esta misma manera se puede realizar el monitoreo del armario eléctrico del motor, usando la

cámara termográfica, aplicando una frecuencia de monitoreo acorde a la criticidad de la falla que se presento.

Los puntos de medición o monitoreo, dependerán de la estructura interna del equipo, por lo tanto estos deben ser seleccionados luego del estudio de los planos de fabricación o dependerán del comportamiento que se desea observar del equipo.

2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El mantenimiento predictivo significa tener un conjunto de información sobre el estado de la maquina, la cual debe ser fiable y obtenida mediante la creación y aplicación de programas de medición y análisis de variables, para así garantizar la disponibilidad de los equipos.

Este trabajo de investigación fue dirigido a la determinación de las variables operativas de los equipos principales de la línea decapado 2, las cuales permitieron conocer los rangos bajo los cuales la operatividad del equipo es confiable.

Conociendo las variables de operación, se desarrollo el análisis de criticidad a los equipos principales, obteniendo como equipo critico el cabrestante de entrada, el cual está compuesto por un motor eléctrico, un reductor, servofreno, ventilador de enfriamiento y bomba de lubricación. Posteriormente se llevo a cabo el análisis de modo, efecto y criticidad de falla, el cual permitió determinar las fallas más relevantes en los componentes del equipo, arrojando como resultado que la que posee mayor incidencia sobre el cabrestante es la falla de rodamientos del reductor. Aun así se escogieron las tres mas relevantes y se desarrollo su respectivo árbol de falla para determinar el evento primario que las provoca.

Cuantificando el árbol de fallas nos permitió conocer la probabilidad de ocurrencia de los eventos primarios más resaltantes, que provocan las fallas principales del sistema, impactando en la disponibilidad del mismo.

Por último se presentaron las curvas de comportamiento del componente que presento la falla con más impacto sobre el sistema, el cual es el reductor. Estas se obtuvieron llevando a cabo una serie de mediciones sobre el reductor, para observar el comportamiento de los componentes internos del mismo, como lo son rodamientos y engranes. Se uso el sistema operativo Labsys y el colector MTI.

CAPÍTULO 5

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN PARA LOS EQUIPOS ROTATIVOS CRÍTICOS DE LA LÍNEA DECAPADO 2 DE SIDOR

En el presente capítulo se presenta el Plan de Mantenimiento Basado en el Mantenimiento por Condición para el equipo crítico de la línea Decapado 2, generado de la aplicación de las técnicas cuantitativas estudiadas en el capítulo anterior.

Tabla 17:

Estándar de Inspección Cabrestante de Entrada

SIDOR						ESTANDAR DE INSPECCION		Linea: Decapado 2	
						Equipo: Cabrestante de Entrada			
EQUIPO	PUNTOS A INSPECCIONAR	VARIABLES	UNIDAD	METODO	INSTRUMENTO	FREC.	RANGO NORMAL	ESTADO	INSPECTOR
MOTOR ELECTRICO CABRESTANTE ENTRADA	General	Ruido de elementos rodantes	N/A	Escuchar	N/A	S	NORMAL	S	Electrico
	Lado Libre	Velocidad del motor	RPM	Chequear	Tacometro	M	300-800	S	Electrico
	Panel de control	Voltaje de linea	Voltios	Chequear	Voltimetro	3M	440	S	Electrico
	Equipo	Consumo de corriente armadura	Amper	Chequear	Pinza	3M	<930	S	Electrico
	Panel de control	Consumo de corriente de campo	Amper	Chequear	Pinza	3M	<25	S	Electrico
	Carcaza	Temperatura de la carcasa	°C	Medir	Pirometro	S	<60	S	Electrico
	Lado Libre-Lado Acople	Temperatura de rodamientos	°C	Medir	Pirometro	S	<50	S	Electrico
	Lado Libre	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Medir	Colector	S	<3	S	A. Vibraciones
	Lado Acople	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Medir	Colector	S	<3	S	A. Vibraciones
	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	D	NORMAL	S	Electrico
	Equipo	Aterramiento	N/A	Observar	N/A	M	NORMAL	S	Electrico
Armario Electrico	Temperatura del armario electrico	°C	Medir	C. Termografica	S	<100	S	Electrico	
REDUCTOR CABRESTANTE DE ENTRADA	Lado Motor-Lado Rodillo	Temperatura rodamientos	°C	Medir	Pirometro	S	<60	S	Mecanico
	Eje Entrada Lado motor-rodillo	Niveles de vibracion eje de entrada	mm/seg	Medir	Colector	S	<3	S	A. Vibraciones
	Eje Intermedio Lado motor-rodillo	Niveles de vibracion ejes intermedios	mm/seg	Medir	Colector	S	<2	S	A. Vibraciones
	Eje Salida Lado motor-rodillo	Nivelesde vibracion eje de salida	mm/seg	Medir	Colector	S	<1	S	A. Vibraciones
	Eje Entrada Lado motor-rodillo	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de entrada	gE	Medir	Colector	S	<2	S	A. Vibraciones
	Eje Intermedio Lado motor-rodillo	Niveles de esfuerzo rodamientos eje intermedio	gE	Medir	Colector	S	<1	S	A. Vibraciones
	Eje Salida Lado motor-rodillo	Niveles de esfuerzo rodamientos eje de salida	gE	Medir	Colector	S	<0.6	S	A. Vibraciones
	Medidor de Nivel	Nivel de aceite	%	Chequear	N/A	D	60	S	Mecanico
	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	D	NORMAL	S	Mecanico
	Sellos	Fugas de aceite	N/A	Observar	N/A	S	NORMAL	S	Mecanico
	Muestra	Contenido de Particulas en el aceite	ppm	Medir	Filtro	S	ASTM-D893	S	Quimico
	Muestra	Contenido de agua en el aceite	%	Medir	Decantacion	S	0,2	S	Quimico
	Conjunto motor-reductor	Ajuste tornillo anclaje/acople	N/A	Observar	N/A	D	NORMAL	S	Mecanico


Continuación Tabla 17

SERVOFRENO	Zapatatas	Zapatatas servofreno	N/A	Observar	N/A	D	NORMAL	S	Mecanico
	Panel de control	Corriente nominal	Amper	Medir	Pinza	M	<1.6	S	Electrico
	Medidor de Nivel	Nivel de aceite	%	Chequear	N/A	D	60	S	Mecanico
	Cuerpo del servofreno	Temperatura	°C	Medir	Pirometro	S	<60	S	Mecanico
VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO	Carcaza-rodamientos	Temperatura	°C	Medir	Pirometro	S	50	S	Electrico
	Panel de control	Consumo de corriente	Amper	Medir	Pinza	3M	<8,5	S	Electrico
	Lado libre	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Medir	Colector	S	<5	S	A. Vibraciones
	Lado Acople	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Medir	Colector	S	<5	S	A. Vibraciones
	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	M	NORMAL	S	Electrico
GUAYA DE EMERGENCIA	Guayas	Desgaste de Guayas	%	Observar	N/A	M	<7	S	Mecanico
	Guayas	Aislante	N/A	Observar	N/A	M	NORMAL	S	Mecanico
	Guayas	Conexiones	N/A	Observar	N/A	M	NORMAL	S	Mecanico
	Panel de control	Alimentacion	N/A	Medir	N/A	M	NORMAL	S	Mecanico
BOMBA DE LUBRICACION	Lado Libre-Lado Acople	Temperatura	°C	Medir	Pirometro	S	<70	S	Electrico
	Panel de control	Consumo de corriente	Amper	Medir	Pinza	3M	<4.2	S	Electrico
	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	D	NORMAL	S	Electrico
	Manometro	Presion de la bomba	bar	Chequear	MANOMETRO	S	<1.5	S	Mecanico
	Prensaestopas	Fugas de aceite	N/A	Observar	N/A	D	NORMAL	S	Mecanico

D: Diaria S: Semanal M: Mensual S: servicio F.S: Fuera de Servicio N/A: No aplica


Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

Tabla 18: Guía de Inspección Trimestral

<div>  GUÍA DE INSPECCIÓN TRIMESTRAL </div>							Línea: Decapado 2 Equipo: Cabrestante de Entrada			
EQUIPO	PUNTOS A INSPECCIONAR	VARIABLES	UNIDAD	METODO	INSTRUMENTO	RANGO NORMAL	FRECUENCIA TRIMESTRAL			
							1	2	3	4
MOTOR	Panel de control	Voltaje de linea	Voltios	Chequear	Voltmetro	440				
	Equipo	Consumo de corriente armadura	Amper	Chequear	Pinza	<930				
	Panel de control	Consumo de corriente de campo	Amper	Chequear	Pinza	<25				
VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO	Panel de control	Consumo de corriente	Amper	Medir	Pinza	<8.5				
BOMBA DE LUBRICACION	Panel de control	Consumo de corriente	Amper	Medir	Pinza	<4.2				


Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

Tabla 19: Guía de Inspección Mensual

<div>  GUÍA DE INSPECCIÓN MENSUAL </div>							Línea: Decapado 2 Equipo: Cabrestante de Entrada			
EQUIPO	PUNTOS A INSPECCIONAR	VARIABLES	UNIDAD	METODO	INSTRUMENTO	RANGO NORMAL	FRECUENCIA MENSUAL			
							1	2	3	4
MOTOR	Lado Libre	Velocidad del motor	RPM	Chequear	Tacometro	300-800				
	Equipo	Aterramiento	N/A	Observar	N/A	NORMAL				
SERVOFRENO	Panel de control	Corriente nominal	Amper	Medir	Pinza	<1.6				
VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	NORMAL				
GUAYA DE EMERGENCIA	Guayas	Desgaste de Guayas	%	Observar	N/A	<7				
	Guayas	Aislante	N/A	Observar	N/A	NORMAL				
	Guayas	Conexiones	N/A	Observar	N/A	NORMAL				
	Panel de control	Alimentacion	N/A	Medir	N/A	NORMAL				


Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

Tabla 20: Guía de Inspección Semanal

<div>  GUÍA DE INSPECCIÓN SEMANAL </div>							Línea: Equipo:			
EQUIPO	PUNTOS A INSPECCIONAR	VARIABLES	UNIDAD	METODO	INSTRUMENTO	RANGO NORMAL	FRECUCENCIA SEMANAL			
							1	2	3	4
MOTOR ELECTRICO CABRESTANTE ENTRADA	General	Ruido de elementos rodantes	N/A	Escuchar	N/A	NORMAL				
	Carcaza	Temperatura de la carcasa	°C	Medir	Pirometro	<60				
	Lado Libre-Lado Acople	Temperatura de rodamientos	°C	Medir	Pirometro	<50				
	Lado Libre	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Medir	Colector	<3				
	Lado Acople	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Medir	Colector	<3				
	Armario Electrico	Temperatura del armario electrico	°C	Medir	C. Termografica	<100				
REDUCTOR CABRESTANTE DE ENTRADA	Lado Motor-Lado Rodillo	Temperatura rodamientos	°C	Medir	Pirometro	<60				
	Eje Entrada Lado motor-rodillo	Niveles de vibracion eje de entrada	mm/seg	Medir	Colector	<3				
	Eje Intermedio Lado motor-rodillo	Niveles de vibracion ejes intermedios	mm/seg	Medir	Colector	<2				
	Eje Salida Lado motor-rodillo	Nivelesde vibracion eje de salida	mm/seg	Medir	Colector	<1				
	Eje Entrada Lado motor-rodillo	Niveles de esfuerzo rodamientos eje	gE	Medir	Colector	<2				
	Eje Intermedio Lado motor-rodillo	Niveles de esfuerzo rodamientos eje	gE	Medir	Colector	<1				
	Eje Salida Lado motor-rodillo	Niveles de esfuerzo rodamientos eje	gE	Medir	Colector	<0.6				
	Sellos	Fugas de aceite	N/A	Observar	N/A	NORMAL				
	Muestra	Contenido de Particulas en el aceite	ppm	Medir	Filtro	ASTM-D893				
	Muestra	Contenido de agua en el aceite	%	Medir	Decantacion	0,2				
SERVOFRENO	Cuerpo del servofreno	Temperatura	°C	Medir	Pirometro	<60				
VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO	Carcaza-rodamientos	Temperatura	°C	Medir	Pirometro	50				
	Lado libre	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Medir	Colector	<5				
	Lado Acople	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Medir	Colector	<5				
BOMBA DE LUBRICACION	Lado Libre-Lado Acople	Temperatura	°C	Medir	Pirometro	<70				
	Manometro	Presion de la bomba	bar	Chequear	MANOMETRO	<1.5				

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

Tabla 21: Guía de Inspección Diaria

<div>  GUÍA DE INSPECCIÓN DIARIA </div>							Línea: Decapado 2 Equipo: Cabrestante de Entrada
EQUIPO	PUNTOS A INSPECCIONAR	VARIABLES	UNIDAD	METODO	INSTRUMENTO	RANGO NORMAL	FRECUENCIA DIARIA
							1 2 3 4 5 6 7
MOTOR	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
REDUCTOR	Medidor de Nivel	Nivel de aceite	%	Chequear	N/A	60	
	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
	Conjunto motor-reductor	Ajuste tornillo anclaje/acople	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
SERVOFRENO	Zapatas	Zapatas servofreno	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
	Medidor de Nivel	Nivel de aceite	%	Chequear	N/A	60	
BOMBA DE LUBRICACION	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
	Prensaestopas	Fugas de aceite	N/A	Observar	N/A	NORMAL	

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

Tabla 22: Chequeo Trimestral

<div>  CHEQUEO TRIMESTRAL </div>							Línea: Decapado 2 Equipo: Cabrestante de Entrada
EQUIPO	PUNTOS A INSPECCIONAR	VARIABLES	UNIDAD	METODO	INSTRUMENTO	RANGO NORMAL	ESTADO ACTUAL
MOTOR	Panel de control	Voltaje de línea	Voltios	Chequear	Voltmetro	440	
	Equipo	Consumo de corriente armadura	Amper	Chequear	Pinza	<930	
	Panel de control	Consumo de corriente de campo	Amper	Chequear	Pinza	<25	
VENTILDADOR DE ENFRIAMIENTO	Panel de control	Consumo de corriente	Amper	Medir	Pinza	<8.5	
BOMBA DE LUBRICACION	Panel de control	Consumo de corriente	Amper	Medir	Pinza	<4.2	

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

Tabla 23: Chequeo Mensual

SIDOR CHEQUEO MENSUAL						Linea:	Decapado 2
						Equipo:	Cabrestante de Entrada
EQUIPO	PUNTOS A INSPECCIONAR	VARIABLES	UNIDAD	METODO	INSTRUMENTO	RANGO NORMAL	ESTADO ACTUAL
MOTOR	Lado Libre	Velocidad del motor	RPM	Chequear	Tacometro	300-800	
	Equipo	Aterrramiento	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
SERVOFRENO	Panel de control	Corriente nominal	Amper	Medir	Pinza	<1.6	
VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
GUAYA DE EMERGENCIA	Guayas	Desgaste de Guayas	%	Observar	N/A	<7	
	Guayas	Aislante	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
	Guayas	Conexiones	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
	Panel de control	Alimentacion	N/A	Medir	N/A	NORMAL	


Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

Tabla 24: Chequeo Diario

SIDOR CHEQUEO DIARIO						Linea:	Decapado 2
						Equipo:	Cabrestante de Entrada
EQUIPO	PUNTOS A INSPECCIONAR	VARIABLES	UNIDAD	METODO	INSTRUMENTO	RANGO NORMAL	ESTADO ACTUAL
MOTOR	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
REDUCTOR	Medidor de Nivel	Nivel de aceite	%	Chequear	N/A	60	
	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
	Conjunto motor-reductor	Ajuste tornillo anclaje/acople	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
SERVOFRENO	Zapatas	Zapatas servofreno	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
	Medidor de Nivel	Nivel de aceite	%	Chequear	N/A	60	
BOMBA DE LUBRICACION	Estructura General	Condiciones generales del equipo	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
	Prensaestopas	Fugas de aceite	N/A	Observar	N/A	NORMAL	

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

Tabla 25: Chequeo Semanal

<div>  CHEQUEO SEMANAL </div>						Línea: Equipo:	Decapado 2 Cabrestante de Entrada
EQUIPO	PUNTOS A INSPECCIONAR	VARIABLES	UNIDAD	METODO	INSTRUMENTO	RANGO NORMAL	ESTADO ACTUAL
MOTOR ELECTRICO CABRESTANTE ENTRADA	General	Ruido de elementos rodantes	N/A	Escuchar	N/A	NORMAL	
	Carcaza	Temperatura de la carcasa	°C	Medir	Pirometro	<60	
	Lado Libre-Lado Acople	Temperatura de rodamientos	°C	Medir	Pirometro	<50	
	Lado Libre	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Medir	Colector	<3	
	Lado Acople	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Medir	Colector	<3	
	Armario Electrico	Temperatura del armario electrico	°C	Medir	C. Termografica	<100	
REDUCTOR CABRESTANTE DE ENTRADA	Lado Motor-Lado Rodillo	Temperatura rodamientos	°C	Medir	Pirometro	<60	
	Eje Entrada Lado motor-rodillo	Niveles de vibracion eje de entrada	mm/seg	Medir	Colector	<3	
	Eje Intermedio Lado motor-rodillo	Niveles de vibracion ejes intermedios	mm/seg	Medir	Colector	<2	
	Eje Salida Lado motor-rodillo	Nivelesde vibracion eje de salida	mm/seg	Medir	Colector	<1	
	Eje Entrada Lado motor-rodillo	Niveles de esfuerzo rodamientos eje	gE	Medir	Colector	<2	
	Eje Intermedio Lado motor-rodillo	Niveles de esfuerzo rodamientos eje	gE	Medir	Colector	<1	
	Eje Salida Lado motor-rodillo	Niveles de esfuerzo rodamientos eje	gE	Medir	Colector	<0.6	
	Sellos	Fugas de aceite	N/A	Observar	N/A	NORMAL	
	Muestra	Contenido de Particulas en el aceite	ppm	Medir	Filtro	ASTM-D893	
	Muestra	Contenido de agua en el aceite	%	Medir	Decantacion	0,2	
SERVOFRENO	Cuerpo del servofreno	Temperatura	°C	Medir	Pirometro	<60	
VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO	Carcaza-rodamientos	Temperatura	°C	Medir	Pirometro	50	
	Lado libre	Nivel de vibracion lado libre	mm/seg	Medir	Colector	<5	
	Lado Acople	Nivel de vibracion lado acople	mm/seg	Medir	Colector	<5	
BOMBA DE LUBRICACION	Lado Libre-Lado Acople	Temperatura	°C	Medir	Pirometro	<70	
	Manometro	Presion de la bomba	bar	Chequear	MANOMETRO	<1.5	

Fuente: Propia (2011)⁽²³⁾

CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos en este trabajo, se concluye los siguientes aspectos:

1. Se desarrollo un plan de mantenimiento basado en la condición para el equipo crítico de la línea decapado 2.
2. Se realizo un análisis de criticidad sobre los equipos principales de la línea Decapado 2, arrojando como el equipo más crítico al Cabrestante de Entrada.
3. De los componentes del cabrestante de entrada, el reductor posee mayor impacto operacional sobre el sistema crítico, siendo la falla sobre sus rodamientos la más relevante.
4. Las fallas presentes en los equipos se deben en la mayoría de los casos, a la falta de control de las variables operacionales y a la aplicación de los estándares de inspección.
5. Se determinaron mejoras sustanciales en el comportamiento de los equipos, mediante la aplicación de mediciones de los niveles de vibración de cada uno de los componentes del equipo critico.
6. Las variables de control existentes se limitaban al proceso, no se consideraban las variables de operación de cada equipo.

RECOMENDACIONES

En función de las conclusiones obtenidas con este estudio, se recomienda:

1. Adiestrar y concientizar al personal de mantenimiento y operaciones de las prácticas operativas e importancia de la ejecución de los planes de mantenimiento.
2. Aplicar como base para la creación de las inspecciones especiales y rutinarias los estándares de mantenimiento propuestos en este trabajo.
3. Cargar en el sistema SAP las guías de inspección de mantenimiento, reportar su ejecución e iniciar un control estadístico.
4. Mantener las mediciones de vibraciones para generar las tendencias de los equipos, ya que esto nos permite una detección temprana de las fallas.

BIBLIOGRAFIA

(1) INTRANET (2005). **Indicadores de Gestión SIDOR**. [Documento en línea]. Venezuela. Disponible en: <http://sidornet.sidor.ot>. [18 de mayo del 2005]

(2) INTRANET (2005). Ibidem.

(3) INTRANET (2005). Ibidem.

(4) FERNÁNDEZ, S. (2003). **El modelo organizativo de mantenimiento en SIDOR**. Venezuela. Impresos Graficas Etxea, C.A...Pág. 150.

(5) FERNANDEZ, S. (2003). Ibidem. Pág. 149

(6) CASTILLO, J. (2004). **Diseño de programa de mantenimiento predictivo para el sistema de frenos de vagones góndolas basado en las condiciones operativas de las zapatas de freno**. Puerto Ordaz-Venezuela. UNEXPO.

(7) GARCIA, J. (2003). **Diseño de un plan de mantenimiento predictivo a los equipos de bombeo del sistema contra incendio de la planta de distribución de combustible d Puerto Ordaz**. Puerto Ordaz-Venezuela. UNEXPO.

(8) CARVAJAL, J. (2005). **Desarrollo e implementación de un sistema de mantenimiento predictivo para los rodamientos de bajas vueltas en SIDOR C.A.** Puerto Ordaz-Venezuela. UNEXPO.

(9) AMENDOLA, L. (2002) **Gestión de Activos Mantenimiento Industrial**. [Documento en línea]. Disponible en: www.solomantenimiento.com/m_gestion_activos.htm. [15 de mayo del 2002]

- (10) MARTÍNEZ, O. (2003). **El mantenimiento predictivo como herramienta para la competitividad industrial**. III Foro de mantenimiento e industria. Chile.
- (11) ESTUPIÑÁN, E. (2001). **Alcances de la implementación de nuevas técnicas de análisis en los programas de mantenimiento predictivo-proactivo en la industria**. Perú. Congreso peruano de mantenimiento.
- (12) CONFALONIERI, M. (2003). **Vibraciones I**. Puerto Ordaz, Venezuela ID Ingeniería. Pág. 4.
- (13) DUFFUAA, S. (2003). **Sistemas de mantenimiento planeacion y control**. México. Editorial Limusa S.A. Pág. 33
- (14) CHRISTENSEN, C. (2004). **Conceptos del mantenimiento**. [Documento en línea]. Disponible en: <http://internal.dstm.com.ar/foro/ar/Christensenfiles/fram.htm>. [20 de mayo del 2005]
- (15) SIMBRON, N. (2004). **Teorías del mantenimiento**. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos5/teorsist/teorsist.shtml#man>. [22 de mayo del 2005]
- (16) FERNANDEZ, S. (2003). Ob. cit.
- (17) RODRIGUEZ, J. (2004). **Gestión del mantenimiento en SIDOR**. Puerto Ordaz, Venezuela. SIDOR. Pág. 4.
- (18) INTERNET (2003). **Mantenimiento basado en la condición**. [Documento en línea]. Venezuela. Disponible en: <http://www.solomantenimiento.com>. [25 de mayo del 2005].
- (19) ESTUPIÑÁN, E. (2001). Ob. cit.

(20)NÁRVAEZ, R. (2001). **Material didáctico para uso de estudiantes de postgrado de la UNEXPO**. Puerto Ordaz, Venezuela. UNEXPO.

(21)BERMEJO, B. (2004). **Planificar un proyecto de investigación**. [Documento en línea] Disponible en: <http://www.uiah.fi/projects/metodi/252.htm>. [28 de mayo del 2005].

(22)MÁRQUEZ, H. (2004). **Metodología de la investigación**. [Documento en línea]. Disponible en: http://es.geocities.com/tuten_unap/metodologia.htm. [28 de mayo del 2005].

(23) HERNANDEZ, L. (2011)