

MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PROACTIVO
DE LOS EQUIPOS CRITICOS DE UN TREN DE LAMINACION EN FRIO
BASADO EN RCM

HERNANDO NIETO GONZALEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2011

MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PROACTIVO
DE LOS EQUIPOS CRITICOS DE UN TREN DE LAMINACION EN FRIO
BASADO EN RCM.

HERNANDO NIETO GONZALEZ

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

Director: Wulfran Navarro Arévalo
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2011

En memoria de mi padre,

Hernando Nieto Foronda

AGRADECIMIENTOS

Manifiesto mi agradecimiento a Acerías de Colombia ACESCO & CIA S.C.A. por el apoyo brindado durante la especialización y el desarrollo de la monografía.

A mi esposa Ximena y mi hija Valentina por el apoyo y comprensión del tiempo empleado durante las noches de estudio.

Al Director de la Unidad de Mantenimiento Ing. Wulfran Navarro y a todos mis compañeros de trabajo por el apoyo y experiencia de los procesos.

A todos mis compañeros y docentes de la especialización por el aporte de sus experiencias y conocimientos durante las clases.

CONTENIDO

1	DESCRIPCION DE ACESCO & CIA S.C.A	20
1.1	UBICACION	20
1.2	RESEÑA HISTORICA	21
1.3	MISION Y VISION	22
1.4	PROCESOS PRODUCTIVOS	23
1.5	PRODUCTOS	24
1.6	UNIDAD DE MANTENIMIENTO Y MONTAJE	27
1.7	PROCESO DE LAMINACION	28
2	MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	30
2.1	DEFINICION	30
2.2	OBJETIVOS DEL RCM	31
2.3	ACCIONES PREVENTIVAS DEL RCM	32
2.4	PROCESO DE ANALISIS DE FALLA DEL RCM	32
2.5	METODOLOGIA DEL RCM	33
2.6	IMPLEMENTACION DEL PROCESO DE RCM	34
2.7	CONDICIONES DE LA IMPLEMENTACION	35
3	MANTENIMIENTO PROACTIVO	37
3.1	DEFINICION	37
3.2	TECNICAS APLICADAS AL MANTENIMIENTO PROACTIVO	38

4	ANALISIS DE CRITICIDAD	49
4.1	DEFINICION	49
4.2	PASOS PARA SU APLICACION	49
4.3	ECUACION Y PARAMETROS	50
5	RCFA	54
5.1	DEFINICION	54
5.2	CUANDO SE USA EL RCFA	54
5.3	PORQUE UTILIZAR EL RCFA	55
5.4	PASOS PARA HACER UN RCFA	55
6	ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS	64
6.1	HISTORIA DEL AMEF	64
6.2	DESARROLLO DEL AMEF	66
6.3	ETAPAS DEL AMEF	66
7	MODELO DE OPTIMIZACION	74
7.1	VENTAJAS DE LA METODOLOGIA	76
7.2	ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL MEDIANTE LA IDENTIFICACION DE EQUIPOS CRITICOS	77
7.3	REVISION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO INICIAL	79
7.4	REVISION DE MANUALES Y EQUIPOS	81
7.5	IDENTIFICACION DE FUNCIONES PRINCIPALES Y ESTANDARES DE FUNCIONAMIENTO	83
7.6	ANALISIS CAUSA RAIZ MEDIANTE ARBOL LOGICO DE FALLAS	85

7.7	IDENTIFICACION DE LOS MODOS Y EFECTOS DE FALLA	87
7.8	CUANTIFICACION DE LA CRITICIDAD MEDIANTE EL NPR	88
7.9	DETERMINACION DE LAS ACCIONES PREVENTIVAS Y PREDICTIVAS CON SUS RESPONSABLES	91
7.10	ELABORACION Y PRESENTACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO FINAL	93
8	APLICACION DEL MODELO A UN EQUIPO CRITICO DEL LAMINADOR	94
9	CONCLUSIONES	103
	BIBLIOGRAFIA	105
	ANEXOS	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de evaluación de la criticidad	52
Tabla 2. Listado general de equipos críticos	53
Tabla 3. Criterios sugeridos para determinar el grado de severidad	69
Tabla 4. Criterios sugeridos para determinar el grado de ocurrencia	70
Tabla 5. Criterios sugeridos para determinar el grado de detección	70
Tabla 6. Comparación del NPR	89
Tabla 7. Contraste entre el SO y NPR	90
Tabla 8. Equipos Críticos	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica de ACESCO & CIA S.C.A	20
Figura 2. Unidades Productivas	24
Figura 3. Organigrama de Mantenimiento	27
Figura 4. Rodillos de laminación	28
Figura 5. Proceso del Laminador	29
Figura 6. Analizador de vibraciones VB8	39
Figura 7. Cámara Termográfica Flir	42
Figura 8. Análisis de aceites	44
Figura 9. Criterios para cuantificar el riesgo	52
Figura 10. Árbol lógico de fallas	59
Figura 11. Formato FMEA sugerido por la Norma SAEJ1739	72
Figura 12. Modelo de optimización	74
Figura 13. Equipo básico de trabajo RCM	75
Figura 14. Definición de una función	83
Figura 15. Distribución de los cilindros de bombeo del laminador	98
Figura 16. Clasificación de causas falla para el Sistema Hidráulico	99
Figura 17. Consecuencia de la falla por cánula	99
Figura 18. Árbol lógico de fallas para el sistema hidráulico	100
Figura 19. AMEF sistema de cánulas de bombeo laminador	101
Figura 20. Plan de mantenimiento para el sistema hidráulico de bombeo	102

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. FORMATO FMEA NORMA SAEJ1739	108
ANEXO B. DISEÑO ORIGINAL CANULA DE BOMBEO	109
ANEXO C. DISEÑO MODIFICADO CANULA DE BOMBEO	110

GLOSARIO

ANALISIS DE CRITICIDAD. es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

CONFIABILIDAD. probabilidad de que un equipo, desempeñe una función dada, sin fallar por un determinado periodo de tiempo y dentro de ciertas condiciones de uso.

EQUIPO CRÍTICO. sistema tal que falla afecta de modo directo la continuidad del proceso productivo, ya que interrumpe la operación y afecta directamente los parámetros de productividad.

FMEA. análisis de modo y efecto de fallas, metodología de un equipo sistemáticamente dirigido que identifica los modos de falla potenciales en un sistema, producto u operación de manufactura / ensamble causadas por deficiencias en los procesos de diseño o manufactura / ensamble

MANTENIMIENTO CORRECTIVO. también denominado mantenimiento reactivo, es aquel trabajo que involucra una cantidad determinada de tareas de reparación no programadas con el objetivo de restaurar la función de un activo una vez producido un paro imprevisto. Las causas que pueden originar un paro imprevisto se deben a desperfectos no detectados durante las inspecciones predictivas, a errores operacionales, a la ausencia tareas de mantenimiento y, a requerimientos de producción que generan políticas como la de "repara cuando falle".

MANTENIMIENTO PREDICTIVO. es un mantenimiento planificado y programado que se fundamenta en el análisis técnico, programas de inspección y reparación

de equipos, el cual se adelanta al suceso de las fallas, es decir, es un mantenimiento que detecta las fallas potenciales con el sistema en funcionamiento. Con los avances tecnológicos se hace más fácil detectar las fallas, ya que se cuenta con sistemas de vibraciones mecánicas, análisis de aceite, análisis de termografía infrarrojo, análisis de ultrasonido, monitoreos de condición, entre otras.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO. es aquel que consiste en un grupo de tareas planificadas que se ejecutan periódicamente, con el objetivo de garantizar que los activos cumplan con las funciones requeridas durante su ciclo de vida útil dentro del contexto operacional donde se ubican, alargar sus ciclos de vida y mejorar la eficiencia de los procesos. En la medida en que optimizamos las frecuencias de realización de las actividades de mantenimiento logramos aumentar las mejoras operacionales de los procesos.

MANTENIMIENTO PROACTIVO. es aquel que engloba un conjunto de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo que tienen por objeto lograr que los activos cumplan con las funciones requeridas dentro del contexto operacional donde se ubican, disminuir las acciones de mantenimiento correctivo, alargar sus ciclos de funcionamiento, obtener mejoras operacionales y aumentar la eficiencia de los procesos.

MODO DE FALLA. son todos los hechos que de manera probable, pueden causar un estado de falla en un equipo. Es cualquier evento que puede causar una falla en la función de un equipo.

NPR. es una medida utilizada para evaluar el riesgo de que ayuda a identificar los modos de falla críticos asociados con un equipo ó proceso.

PdMA. análisis predictivo de motores eléctricos, ofrece una visión de la condición y estado de los motores, detectando problemas tales como: Problemas en barras y

anillos de cierre del rotor. Porosidades en la fundición de rotores fundidos. Irregularidades en el entrehierro estáticas y dinámicas. Desequilibrio en el campo magnético.

PROCESO DE DECAPADO. proceso dentro de la cadena de laminación que tiene como objeto eliminar los óxidos metálicos, la cascarilla de fabricación, el óxido de recocido para dejar la superficie químicamente limpia. Esta es una condición necesaria para un correcto galvanizado.

PROCESO DE GALVANIZACION. es el proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro. La función del galvanizado es proteger la superficie del metal sobre el cual se realiza el proceso. El galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc (Zn) sobre hierro (Fe); ya que, al ser el zinc más oxidable, menos noble, que el hierro y generar un óxido estable, protege al hierro de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire.

PROCESO DE LAMINACION EN FRIO. es el proceso mediante el que se reduce el grosor y la planitud del acero, aluminio u otros metales en temperaturas inferiores a la del proceso de laminación en caliente.

RCA. es una clase de resolución de problemas los métodos dirigidos a identificar la causa raíz de problemas o eventos. La práctica de RCA se basa en la creencia de que los problemas se resuelven mejor al tratar de abordar, corregir o eliminar las causas raíz, en lugar de simplemente tratar los síntomas evidentes de inmediato. Al dirigir las medidas correctivas a las causas profundas, es más probable que la ocurrencia del problema se puede prevenir. Sin embargo, se reconoce que la prevención completa de la ocurrencia de una acción correctiva no siempre es posible. Por el contrario, puede haber varias medidas efectivas (métodos) que se ocupan de la causa raíz de un problema. Por lo tanto, la RCA se considera a menudo ser un proceso iterativo, y es frecuentemente visto como una herramienta de mejora continua.

RCM. es un proceso que permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. El RCM muestra que muchas de los conceptos del mantenimiento que se consideraban correctos son realmente equivocados. En muchos casos, estos conceptos pueden ser hasta peligrosos.

RESUMEN

TITULO: MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PROACTIVO DE LOS EQUIPOS CRITICOS DE UN TREN DE LAMINACION EN FRIO BASADO EN RCM.*

AUTOR: HERNANDO NIETO GONZALEZ**

PALABRAS CLAVES: CRITICIDAD, CONFIABILIDAD, MANTENIMIENTO, PROACTIVO

DESCRIPCION

Esta investigación se fundamenta bajo el concepto confiabilidad, por la cual se determina la probabilidad de que un equipo y/o proceso cumpla la función que tiene asignada, sin fallas y de acuerdo a condiciones determinadas durante un periodo de tiempo dado.

Una mayor confiabilidad reduce los costos de operación, minimiza las fallas en los equipos, contribuye al aumento de la producción, controla la seguridad en los puestos de trabajo, mejora la calidad y disminuye el riesgo ambiental.

Teniendo en cuenta aspectos como la frecuencia de fallas, el tiempo medio de reparación, el costo de intervención, la flexibilidad operacional y los impactos en la producción, ambiental, la seguridad y la calidad del producto, se simplifica y prioriza el análisis de confiabilidad para los equipos en un proceso.

El factor clave consiste en analizar los fallos potenciales que impiden realizar las funciones principales de los equipos de forma anticipada, reduciendo su aparición a través de enfoques planificados y programados de mantenimiento.

El mantenimiento basado en confiabilidad es un proceso de mejora continua en el cual se identifican los fallos potenciales antes de que lleguen a ser críticos. Este proceso, a su vez, conduce a planificar con más precisión el mantenimiento proactivo.

Un plan de mantenimiento preventivo optimizado se desarrolla utilizando los principios de confiabilidad y las técnicas tales como análisis de modos y efectos de fallas (FMEA) y el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), así como un amplio uso del mantenimiento basado en condición (CBM) y las tecnologías de mantenimiento predictivo (PdM).

RCM ayuda a determinar cómo los activos pueden seguir haciendo lo que sus usuarios requieren en el contexto operacional. RCM proporciona un marco de referencia para el análisis de las funciones y los posibles fallos de los activos.

El mantenimiento proactivo es un conjunto de acciones de mantenimiento adoptadas para encontrar fallos incipientes y reducir la cantidad de correctivos.

*Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director. Ing. Wulfran Navarro.

SUMMARY

TITLE: PROACTIVE MAINTENANCE OPTIMIZATION MODEL FOR A COLD ROLLING MILL BASED IN RCM.*

AUTHOR: HERNANDO NIETO GONZALEZ**

KEY WORDS: CRITICAL, RELIABILITY, PROACTIVE MAINTENANCE

DESCRIPTION

This investigation is based on the concept of reliability, which is determined by the probability that an equipment or process meet its assigned function, without failure, and according to specific conditions for a period of time.

Greater reliability reduce operating costs, minimize equipment failures, contributes to increased production, controls security in jobs, improving quality and reducing environmental risk.

Taking into account aspects such as the frequency of failures, mean time to repair, the cost of intervention, the operational flexibility and impacts on production, environmental, safety and product quality, simplify and prioritize the analysis of reliability for equipment in a process.

The key factor is to analyze potential failures that prevent the main functions of the equipment in advance, reducing their appearance through approaches planned and scheduled maintenance.

The reliability-based maintenance is a continuous improvement process that identifies potential failures before they become critical. This, in turn, leads to more accurate planning proactive maintenance.

An optimized preventive maintenance plan are developed using reliability principles and techniques such as failure mode effects analysis (FMEA) and reliability centered maintenance (RCM) as well as wider use of condition based maintenance (CBM) and predictive maintenance (PdM) technologies.

RCM helps determine how assets can continue to do what their users require in certain operating context. RCM analysis provides a structure framework for analyzing the functions and potential failures of assets.

Proactive maintenance is an aggregate of maintenance actions taken proactive to find incipient failures and then to reduce the maintenance repairs needs.

*Monograph

** Mechanical Engineering. Maintenance Management. Director. Wulfran Navarro.

INTRODUCCION

Con esta investigación se pretende profundizar en los conceptos teóricos del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM bajo el contexto operacional considerado como base para la optimización del mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos críticos de un proceso de manufactura.

Por otro lado se pretende profundizar en el ejercicio práctico del análisis de causa raíz de las fallas RCFA, el análisis modal de efectos de fallas y su cuantificación de la criticidad FMECA bajo la norma SAEJ1739.

Se delimita esta investigación al proceso de Laminación en Frío, con la cual se pretende modificar el plan de mantenimiento preventivo y predictivo para los equipos críticos con el fin de mejorar la confiabilidad del proceso, reduciendo el número de fallas / mes, optimizando la frecuencia y el tiempo del programa de mantenimiento preventivo, reduciendo los costos de mantenimiento y los costos improductivos.

El uso eficiente de los activos mediante la optimización de las estrategias de mantenimiento se ha convertido en un tema importante para las compañías cuando se trata de conseguir mayor productividad en sus procesos.

Para ser competitivo en un entorno global, una empresa no solamente precisa una alta disponibilidad de sus procesos, sino también una alta confiabilidad de los equipos.

Una detallada clasificación de los equipos teniendo en cuenta aspectos como la frecuencia de fallas, el costo de reparación, la seguridad, el medio ambiente y el impacto a la calidad, simplifican y priorizan el análisis de confiabilidad para los equipos en un proceso.

1. DESCRIPCION DE ACESCO & CIA S.C.A

1.1 UBICACION

Acerías de Colombia ACESCO & CIA S.C.A. es una empresa colombiana que produce y comercializa Acero Laminado en Frío, Acero Galvanizado, Teja de Zinc Ondulada y Productos para la Arquitectura Metálica.

Se encuentra ubicada a 6 km al sur del Aeropuerto Ernesto Cortissoz de Malambo que presta sus servicios a la ciudad de Barranquilla, departamento del Atlántico.

Figura 1. Ubicación geográfica de ACESCO & CIA S.C.A



Imagen de Google Earth.

1.2 RESEÑA HISTORICA

En 1970 ACESCO nace como resultado de una experiencia comercial acumulada durante 25 años y por el deseo de participar en la industrialización y desarrollo económico del país.

En 1978 hace Alianza estratégica con la empresa Metalco, empresa productora y comercializadora de acero galvanizado y esmaltado en Costa Rica. para la atención del mercado centro americano y del Caribe.

En 1980 se inicia la construcción en Barranquilla de la nueva planta de ACESCO, convirtiéndose en la primera empresa en relocalizarse motivada por su visión exportadora.

Inicia operaciones en 1982 con una línea de galvanización por inmersión en caliente con una capacidad de 40.000 toneladas año. En la década de los 90 amplía su capacidad a 70.000 toneladas año e incorpora el proceso de recocido en línea.

En 1994 se realiza el traslado de la sede administrativa de Bogotá a Barranquilla, en el municipio de Malambo – Atlántico.

En 1996 ACESCO produce el primer rollo de acero laminado en frío en Colombia. El montaje del tren de laminación es considerado el desarrollo siderúrgico más importante de los últimos 25 años en Colombia y representa un gran aporte para la industria metalmecánica.

En el 2003 se ejecuta la segunda fase de la ampliación de la Línea de Galvanizado, ampliando la capacidad de producción a 120,000 Ton. /Año.

Como estrategia de crecimiento en la producción de acero galvanizado, en el 2006 inició el montaje de una segunda línea de Galvanización en Continuo (LGC2) en el

mes de Diciembre. Esta línea tendrá una capacidad inicial de producir 65000 ton/año.

En Julio del 2007 se inició el montaje de la línea de Pintura (Coil Coating) en continuo. La línea tendrá una capacidad de producción de 17.000 ton/año en espesores de 0.20 mm. @ 0.80 mm. Aplicando primer y pintura de acabado por dos caras, con curado en horno de convección.

Hoy atiende el mercado colombiano y exporta a más de 14 países del continente americano, concentrados principalmente en la Comunidad Andina de Naciones, los Estados Unidos de América, Costa Rica, Chile y el Caribe.(*)

1.3 MISION Y VISION

1.3.1 Misión.

Ser reconocidos como un proveedor de clase mundial en el mercado de aceros planos.(**)

1.3.2 Visión.

ACESCO un Millón.(***)

* Tomado de ww.acesco.com

** Mision de Acesco

*** Vision de Acesco.

1.4 PROCESOS PRODUCTIVOS

ACESCO cuenta con 18 procesos productivos distribuidos en 3 unidades funcionales de producción.

1.4.1 Unidad de laminación.

Esta unidad está compuesta por los procesos de Decapado, Laminación, Recocido en Campana, Rebobinado, Líneas de Corte 2 y Corte 3, que procesan los productos de Acero Laminado en Frio y Acero Laminado en Caliente.

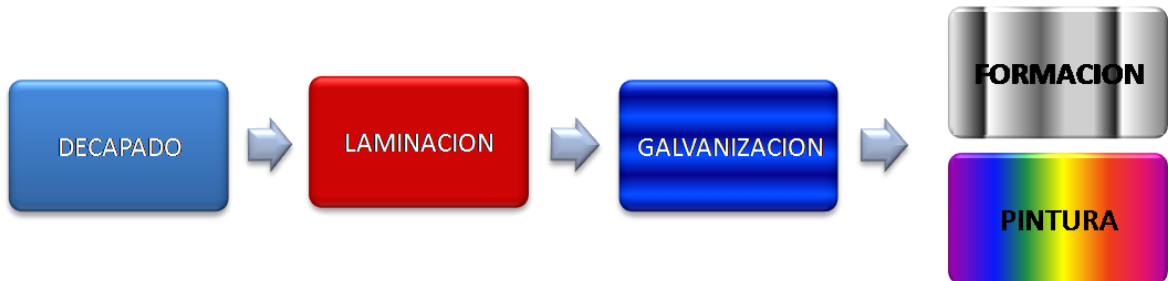
1.4.2 Unidad de recubiertos.

Conformada por dos líneas de galvanización en continuo, una línea de corte 4 y una línea de pintura, que procesan los productos de Acero Galvanizado y Acero Prepintado.

1.4.3 Unidad de Formación.

Comprende a su vez 8 líneas de formado, una línea de flejes, dos perfiladoras, dos líneas formadoras y una línea de tubería, que procesan toda la gama de productos formados.

Figura 2. Unidades productivas.



1.5 PRODUCTOS

1.5.1 Acero laminado en frío.

ACESCO produce acero laminado en frío de bajo carbono y en calidad comercial, estructural y embutición profunda, en rollos hasta de 20 toneladas o en láminas cortadas a la medida, en espesores desde 0.45 mm hasta 1.90 mm y anchos desde 914 mm hasta 1220 mm.

El acero laminado en frío de ACESCO es recocido en campana con posterior temple mecánico. Utilizado por la industria metalmecánica, auto partes, construcción, entre otras.

El acero laminado en frío cumple con las especificaciones de las normas: ASTM A568, ASTM A1008.

1.5.2 Acero galvanizado.

La lámina de acero galvanizada por inmersión en caliente en calidad comercial, estructural y full hard es un producto que combina las características de resistencia mecánica del acero y la resistencia a la corrosión generada por el zinc.

Se utiliza como materia prima en la industria de refrigeración, construcción, automotriz y metalmecánica en general.

Se presenta en bobinas hasta de 10 toneladas o en láminas cortadas a la medida, en espesores de 0.27 mm hasta 1.90 mm y anchos desde 914 mm hasta 1220 mm.

Calidad Comercial:

Norma: ASTM A653/924 y NTC 4011

Acabado: Flor regular, pasivado seco, no aceitado con tensio nivelado.

Recubrimientos: Z90 (G30), Z120 (G40), Z180 (G60), Z275(G90)

1.5.3 Acero prepintado.

La lámina de Acero Pre-pintado, producida bajo la referencia de la norma ASTM A755M, es un producto versátil con ventajas técnicas y económicas, que combina las propiedades del Acero Galvanizado con la protección de un recubrimiento orgánico adicional, de ahí su alta participación en el desarrollo de la industria.

El Acero Pre-pintado está presente en todos los sectores industriales. En la construcción, en forma de tejas, cubiertas, recubrimientos de fachadas, etc., y la industria en general, como mobiliario metálico, aparatos de calefacción, ventilación, aire acondicionado, entre otros.

1.5.4 Acero laminado en caliente.

El Acero Laminado en Caliente se utiliza en la industria automotriz en carrocerías y estructuras en la fabricación de tubos, perfiles, plataformas, bienes de capital y en la construcción en general.

Calidad Comercial: Norma ASTM A1011M, AISI SAE 1006, AISI SAE 1008.

Calidad Estructural: Norma ASTM A36, ASTM A1011M Grado 50.

Calidad Naval: Norma ASTM A131A

1.5.5 Productos formados.

1.5.5.1 Metaldeck grado 40. Consiste en una lámina de acero preformada y una losa de concreto vaciada sobre esta, de manera monolítica formando una losa.

1.5.5.2 Perfil C grado 50. Este producto se utiliza en la fabricación de pórticos, cerchas o cualquier otro tipo de estructuras metálicas.

1.5.5.3 Perfil Z grado 50. Este producto se utiliza en la fabricación de pórticos, cerchas o cualquier otro tipo de estructuras metálicas.

1.5.5.4 Teja sin traslapo. La Teja Sin Traslazo recta, se usa principalmente para cubrir grandes áreas.

1.5.5.5 Cubiertas Master 1000 y Arquitectónica. Cubiertas, que ofrece gran desempeño estructural y arquitectónico en las obras.

1.5.5.6 Canaleta. Canaleta GRADO 40 ACESCO muy funcional y decorativa, ideal para el uso en grandes luces, debido a la gran inercia de su sección transversal.

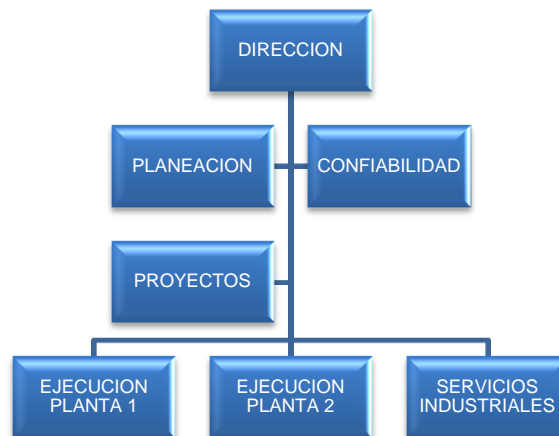
1.5.5.7 Teja de Zinc. Usada en techos de vivienda, fincas, establos, graneros, galpones, bebederos, entre otros.

1.6 UNIDAD DE MANTENIMIENTO Y MONTAJE

La unidad de mantenimiento y montaje de acuerdo a su forma organizativa, corresponde a una organización funcional, ya que agrupa bajo una dirección de unidad varias coordinaciones definidas alrededor de áreas especializadas determinadas por funciones, habilidades, conocimientos y ubicación espacial de acuerdo a los procesos productivos.

De esta manera una dirección de unidad y las coordinaciones especializadas conforman el grupo de trabajo.

Figura 3. Organigrama de mantenimiento.



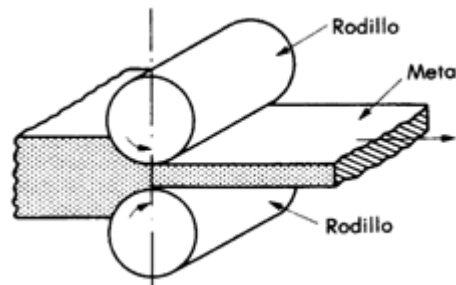
1.6.1 Política de gestión de activos.

Implementaremos las mejores prácticas de mantenimiento que aseguren el riesgo operacional, la confiabilidad, la disponibilidad, los costos y la productividad de los procesos durante su ciclo de vida con el propósito de lograr el cumplimiento del plan estratégico organizacional.(*)

1.7 PROCESO DE LAMINACION.

Laminación es un proceso en el cual se reduce el espesor del material pasándolo entre un par de rodillos rotatorios. Los rodillos son generalmente cilíndricos y producen productos planos tales como láminas o cintas. También pueden estar ranurados o grabados sobre una superficie a fin de cambiar el perfil, así como estampar patrones en relieve. Este proceso de deformación puede llevarse a cabo, ya sea en caliente o en frío.

Figura 4. Rodillos de laminación.



Fuente: imagen de google earth.

El trabajo en caliente es usado muy ampliamente porque es posible realizar un cambio en forma rápida y barata. El laminado en frío se lleva a cabo por razones especiales, tales como la producción de buenas superficies de acabado o propiedades mecánicas especiales. Se lamina más metal que el total tratado por todos los otros procesos.

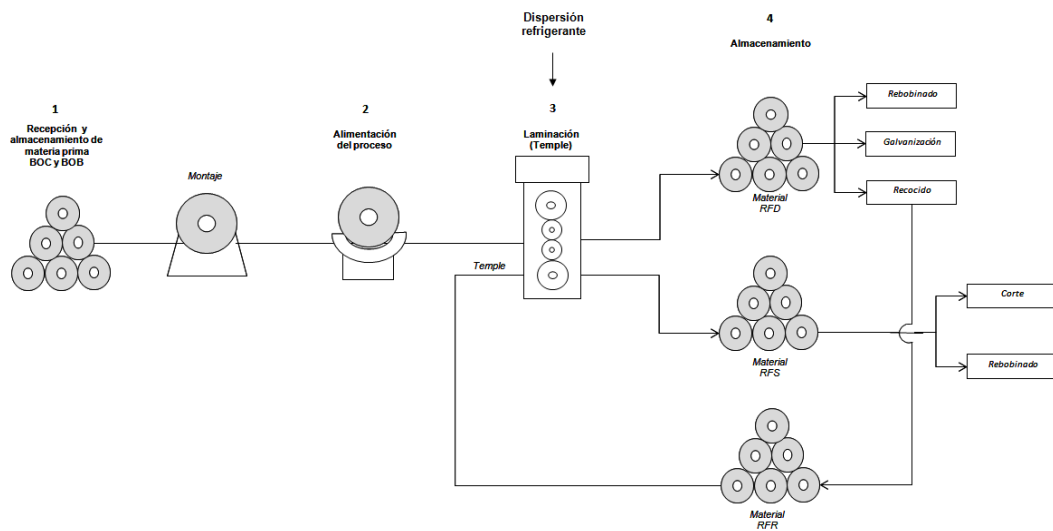
La laminación en frío se lleva a cabo a la temperatura ambiente y comparándolo con la laminación en caliente, produce hojas y tiras con mucho mejor acabado

*Política de Gestión de Activos ACESCO & CIA SCA

superficial debido a la inexistencia de cascarilla, mejores tolerancias dimensionales y buenas propiedades mecánicas debió al endurecimiento originado durante la deformación.

El proceso de laminación representa el 90% de todos los metales producidos usando procesos de metalurgia, fue desarrollado por primera vez a fines del año 1500. La operación básica es el laminado plano o laminado simple, donde los productos laminados son la placa y la hoja.

Figura 5. Proceso del laminador.



2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

2.1 DEFINICION

RCM siglas de Reliability Centered Maintenance, es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos físicos en su contexto operacional.

Una definición más amplia de RCM podría ser “un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúa desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente”.(*)

Es una técnica mas dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costos derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

RCM se basa en analizar los fallos potenciales que puede tener una instalación, sus consecuencias y la forma de evitarlos. Fue documentado por primera vez en un informe escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978. Desde entonces, el RCM ha sido usado para diseñar el mantenimiento y la gestión de activos en todo tipo de actividad industrial y en prácticamente todos los países industrializados del

mundo. Este proceso definido por Nowlan y Heap sirvió de base para el desarrollo del RCM, que ha mejorado y refinado con su uso y con el paso del tiempo.

* <http://www.rcm2-soporte.com/documentos>

Muchas de las posteriores evoluciones de la idea original conservan los elementos clave del proceso ideado por Nowlan y Heap. Sin embargo, el uso extendido del nombre RCM ha llevado a que surjan un gran número de metodologías de análisis de fallos que difieren significativamente del original, pero que sus autores también llaman RCM.

Como resultado de la demanda internacional por una norma que estableciera unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado RCM surgió en 1999 la Norma SAE JA1011 y en el año 2002 la Norma SAE JA1012. No intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen, como se ha dicho, unos criterios que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM.

2.2 OBJETIVOS DEL RCM

Los dos objetivos fundamentales de la implementación de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM en una planta industrial son aumentar la disponibilidad y disminuir costos de mantenimiento. El análisis de una planta industrial según esta metodología aporta una serie de resultados:

- 2.2.1 Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas.
- 2.2.2 Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- 2.2.3 Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

2.3 ACCIONES PREVENTIVAS DE RCM

- 2.3.1 Tareas de mantenimiento, que agrupadas forman el plan de mantenimiento de una planta industrial o una instalación.
- 2.3.2 Procedimientos operativos, tanto de producción como de mantenimiento.
- 2.3.3 Modificaciones o mejoras posibles.
- 2.3.4 Definición de una serie de acciones formativas realmente útiles y rentables para la empresa.
- 2.3.5 Determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en planta para afrontar con eficacia el mantenimiento de ésta.

2.4 PROCESO DE ANALISIS DE FALLAS DEL RCM

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se basa en el análisis de fallos; se analizan tanto aquellos que ya han ocurrido como los que tienen cierta probabilidad de ocurrir y pueden tener consecuencias graves. Durante el proceso de análisis debe contestarse a siete preguntas claves para cada sistema que compone la planta.

- 2.4.1 ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- 2.4.2 ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- 2.4.3 ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- 2.4.4 ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- 2.4.5 ¿En qué sentido es importante cada falla?
- 2.4.6 ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- 2.4.7 ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

2.5 METODOLOGIA DEL RCM

La metodología en la que se basa RCM supone ir completando una serie de etapas para cada uno de los sistemas que componen la planta, a saber.

- 2.5.1 Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.
- 2.5.2 Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.
- 2.5.3 Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.
- 2.5.4 Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.
- 2.5.5 Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias.
- 2.5.6 Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del plan de mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.
- 2.5.7 Puesta en marcha de las medidas preventivas.

2.6 IMPLEMENTACION DEL PROCESO DE RCM

En algunas ocasiones la implementación del proceso de RCM se realiza con personal propio. Supone tener unos conocimientos y una experiencia muy difíciles de encontrar. Es más habitual contratar el servicio con una consultoría especializada en la implementación de RCM o con una empresa que ofrezca este servicio.

La secuencia de implementación se conforma de las siguientes etapas.

- 2.6.1 Reunión de lanzamiento. Presentación del proyecto de implementación de RCM a todos los interesados: Directivos, Jefes de Mantenimiento y producción, otros departamentos como Proyectos, Calidad, Seguridad.
- 2.6.2 Cursos o sesiones de formación para las personas directamente involucradas en el proceso de implementación.
- 2.6.3 Selección de las áreas, sistemas o equipos donde se va a implementar, en caso de que no se vaya a implementar en toda la planta. Es habitual seleccionar una serie de equipos o áreas en las que se va a realizar la implementación.
- 2.6.4 Planificación del proceso.
- 2.6.5 Reuniones de trabajo multidisciplinarias, dirigidas por el facilitador, y en las que participan todos los técnicos designados de las diferentes áreas. Se analizan los equipos, los fallos y sus consecuencias, tanto pasados como potenciales. Una vez analizados se proponen las medidas preventivas necesarias.
- 2.6.6 Aplicación de las medidas preventivas.
- 2.6.7 Análisis de los resultados obtenidos.
- 2.6.8 Selección de un nuevo equipo o área en el que realizar la implementación de RCM.

2.7 CONDICIONES DE LA IMPLEMENTACION

Para que esta implementación sea efectiva, deben darse como mínimas las siguientes condiciones.

- 2.7.1 El facilitador debe ser una persona con experiencia y conocimiento de los procesos.
- 2.7.2 Orientar el diseño a grandes áreas y no a equipos.
- 2.7.3 Tener la colaboración y la implicación de los técnicos designados por la empresa.
- 2.7.4 Llevar a la práctica las medidas preventivas planteadas.

3. MANTENIMIENTO PROACTIVO

3.1 DEFINICION

El Mantenimiento Proactivo, es una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez que las causas que generan el desgaste han sido localizadas, no se debe permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria ya que de hacerlo, su vida y desempeño se verán reducidos. La longevidad de los componentes del sistema depende de que los parámetros de causas de falla sean mantenidos dentro de límites aceptables, utilizando una práctica de detección y corrección de las desviaciones según el programa de Mantenimiento Proactivo. Límites aceptables significa, que los parámetros de causas de falla, están dentro del rango de severidad operacional que conducirá a una vida aceptable del componente en servicio.

El Mantenimiento Proactivo se define como la metodología en la cual el diagnóstico predictivo y las tecnologías predictivas son empleadas hacia aumentos significativos de la vida de los equipos, minimizando las actividades de mantenimiento y paradas y eliminando así las fallas de las máquinas. Es la forma más simple de conseguir importantísimos ahorros, utilizando técnicas de mantenimiento convencionales. Mediante este mantenimiento lo que se busca es la causa raíz de la falla, no sólo el síntoma. El PdM representa el próximo paso en la evolución hacia un Mantenimiento Proactivo y debajo de este procedimiento el personal de mantenimiento debe llevar estadísticas específicas sobre los equipos a monitorear para cumplir con los requerimientos necesarios.

El Mantenimiento Proactivo se refiere a las acciones antes de una acción crítica, por lo tanto ésta es una actividad de pre alerta obtenida antes de que ocurra algún

problema. Este mantenimiento es una acción tomada para corregir situaciones que puedan llevar a la degradación del material debido a la propagación de la falla o problema. Actualmente el Mantenimiento Proactivo está salvando a las empresas de invertir costos elevados en mantenimiento y cambio de maquinaria cada año. Haciendo una analogía con el cuerpo humano, imagine poder localizar y eliminar una enfermedad mucho antes de que los síntomas aparezcan en su cuerpo, esto lo ahorraría dinero en cuentas de hospitales y doctores y lo mantendrá en buen estado de salud por un largo periodo de tiempo. Ésta es la ventaja del Mantenimiento Proactivo sobre el PdM.

3.2 TECNICAS APLICADAS AL MANTENIMIENTO PROACTIVO

Existen varias técnicas aplicadas para el mantenimiento proactivo entre las cuales tenemos las más utilizadas.

3.2.1 Análisis de vibraciones.

Esta técnica del mantenimiento predictivo se basa en la detección de fallos en equipos rotativos principalmente, a través del estudio de los niveles de vibración.

El objetivo final es obtener la representación del espectro de las vibraciones de un equipo en funcionamiento para su posterior análisis.

Para aplicarla de forma efectiva y obtener conclusiones representativas y válidas, es necesario conocer determinados datos de la máquina como son la velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, número de alabes o de palas, etc., y elegir los puntos adecuados de medida. También es necesario seleccionar el analizador más adecuado a los equipos existentes en la planta.

Figura. 6 Analizador de vibraciones Commtest vb8.



Funte: Imagen de google earth.

Existen dos técnicas diferentes.

3.2.1.1 Medición de la amplitud de la vibración: Da un valor global del desplazamiento o velocidad de la vibración. Cuando la vibración sobrepasa el valor preestablecido el equipo debe ser revisado. Únicamente informa de que hay un problema en el equipo, sin poderse determinar por esta técnica donde está el problema.

3.2.1.2 Análisis del espectro de vibración: La vibración se descompone según su frecuencia. Analizando el nivel de vibración en cada una de las frecuencias se puede determinar la causa de la anomalía.

En este caso el equipo se compone de 4 elementos

- Ordenador PC, normalmente portátil, en el que se almacenan las señales
- Interface entre el sensor de vibración y el ordenador, o tarjeta de adquisición de datos.
- Elemento sensor, que es el captador de la vibración.

- Software de análisis, capaz de realizar la descomposición de las señales y su representación gráfica, e incluso en algunos casos y en base a un sistema experto (que acumula la experiencia práctica del análisis de la compañía que lo desarrolla) es capaz de dar un primer diagnóstico del estado de la máquina.

En general, en los equipos rotativos se admite la presencia de algunas componentes de frecuencia en los espectros, siempre que no se observen armónicas o variaciones en el tiempo. Así, siempre es admisible la observación de un pico de vibración a la velocidad de rotación de la máquina (1xRPM) debido a desequilibrio, dado que la distribución de pesos a lo largo del eje de rotación nunca es absolutamente perfecta. También estará siempre presente la frecuencia de engranajes (es decir, si una caja reductora tiene 20 piñones, siempre se detectará un pico de vibración a 20xRPM, 20 veces la velocidad de giro), o la frecuencia de paso de álabes (un ventilador con 8 aspas presentará un pico de vibración a 8xRPM). En el caso de generadores, siempre se detectan picos correspondientes a fenómenos electromagnéticos, que dependen de la frecuencia de la red eléctrica y del número de polos del generador; así, es frecuente observar en estos equipos picos a 1.500 RPM (o 25 Hertzios), 3.000 RPM (50 Hertzios), 6.000 RPM, etc.

La presencia de otras componentes de frecuencias como por ejemplo las relacionadas con torbellinos de aceite, frecuencias de paso de bolas de rodamientos, incluso la detección de ruido audible deben constituir motivo de preocupación, y por supuesto deben ser observadas e investigadas de forma sistemática, y una vez analizada la causa que las provoca, debe ser corregida.

3.2.1.3 Parámetros de las vibraciones

Los parámetros que definen la vibración son los siguientes.

- Frecuencia: Es el tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio. En los análisis de vibración se usan los CPM (ciclos por segundo) o HZ (hercios).
- Desplazamiento: Es la distancia total que describe el elemento vibrante, desde un extremo al otro de su movimiento. Es una cantidad vectorial que describe el cambio de posición de un cuerpo o partícula respecto a un sistema de referencia.
- Velocidad. Es un valor relacionado con los parámetros anteriores. Es un vector que especifica la derivada del desplazamiento en el tiempo.
- Aceleración. Es un vector que especifica la derivada de la velocidad en el tiempo.
- Dirección: Las vibraciones pueden producirse en 3 direcciones lineales y 3 rotacionales.

3.2.2 Termografía infrarroja.

La Termografía en complemento con la técnica de análisis de vibraciones, constituyen las técnicas por excelencia más usadas del mantenimiento predictivo. Las inspecciones termográfica se basan en que todo equipo y/o elemento emite energía desde su superficie. Esta energía se emite en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz a través del aire o por cualquier otro medio de conducción. La Termografía infrarroja es la técnica de producir una imagen visible a partir de radiación infrarroja invisible para el ojo humano, emitida por objetos de acuerdo a su temperatura superficial. La cámara termográfica, como la mostrada en la figura 7.9, es la herramienta que realiza esta transformación.

Figura. 7 Cámara Termográfica Flir.



fuelle: Imagen de google earth.

La cantidad de energía está en relación directa con su temperatura. Cuanto más caliente está el objeto, mayor cantidad de energía emite, y menor longitud de onda tiene esa energía. En general, esa emisión se hace en longitudes de onda mayor que la correspondiente al color rojo, que es la mayor que es capaz de captar el ojo humano. El espectro de emisión, es pues, infrarrojo y por tanto invisible. La cámara termográfica permite "ver" esa energía, transformándola en imágenes visibles. La imagen producida por una cámara infrarroja es llamada Termografía o termograma.

Esta técnica, de haber sido asociada a costosas aplicaciones militares y científicas, se ha convertido en una técnica común y con una gran cantidad de aplicaciones industriales. A través de imágenes térmicas es posible "observar" el escape de energía de una tubería o edificio, detectar e impedir el fallo de un circuito eléctrico o de un rodamiento.

La Termografía permite detectar, sin contacto físico con el elemento bajo análisis, cualquier falla que se manifieste en un cambio de la temperatura, midiendo los

niveles de radiación dentro del espectro infrarrojo. En general, un fallo electromecánico antes de producirse se manifiesta generando e intercambiando calor. Este calor se traduce habitualmente en una elevación de temperatura que puede ser súbita, pero, por lo general y dependiendo del objeto, se presenta de forma gradual, manifestando pequeñas variaciones con el tiempo.

Si es posible detectar, comparar y determinar dicha variación, entonces se pueden detectar fallos que comienzan a gestarse y que pueden producir en el futuro cercano o a mediano plazo una parada de planta y/o un siniestro afectando personas e instalaciones. Esto permite la reducción de los tiempos de parada al minimizar la probabilidad de paradas imprevistas, no programadas, gracias a su aporte en cuanto a la planificación de las reparaciones y del mantenimiento.

El descubridor de la radiación infrarroja fue Sir Frederick William Herschel, nacido en Alemania 1738, quien se interesó en verificar cuanto calor pasaba por filtros de diferentes colores al ser observados al sol. Sir William pudo determinar que los filtros de diferentes colores dejaban pasar diferente nivel de calor. Posteriormente hizo pasar luz del sol por un prisma de vidrio y con esto se formó un espectro (el arco iris). Llevando un control de la temperatura en los diferentes colores del espectro encontró que más allá del rojo, fuera de la radiación visible, la temperatura es más elevada y que esta radiación se comporta de la misma manera desde el punto de vista de refracción, reflexión, absorción y transmisión que la luz visible. Era la primera vez que se demostraba que había una radiación invisible al ojo humano.

3.2.3 Análisis de aceites.

El análisis de aceites de lubricación, técnica aplicable a transformadores y a equipos rotativos, suministra numerosa información utilizable para diagnosticar el desgaste interno del equipo, el estado del lubricante y el ambiente en el que trabaja la máquina.

Figura 8. Análisis de aceites.



En general esta técnica se aplica a los siguientes equipos.

- 3.2.3.1 Motores de combustión interna: grupos electrógenos, moto generadores, motores de gasolina del sistema contraincendios, etc.
- 3.2.3.2 Turbina de gas y de vapor
- 3.2.3.3 Reductores o multiplicadores de gran tamaño
- 3.2.3.4 Sistemas hidráulicos
- 3.2.3.5 Alternadores
- 3.2.3.6 Transformadores
- 3.2.3.7 Bombas de gran tamaño
- 3.2.3.8 Reductores de ventiladores

El estado del equipo se determina estableciendo el grado de contaminación del aceite debido a la presencia de partículas de desgaste o sustancias ajenas a este.

El estado del aceite se determina comprobando la contaminación del aceite y la degradación que ha sufrido, es decir, la pérdida de capacidad de lubricar causada por una variación de sus propiedades físicas y químicas y sobre todo, las de sus aditivos.

La contaminación del aceite se puede determinar cuantificando en una muestra del lubricante, el contenido de partículas metálicas, agua, materias carbonosas y partículas insolubles.

La degradación se puede evaluar midiendo la viscosidad, la detergencia, la acidez y la constante dieléctrica. Es conveniente indicar que la contaminación y la degradación no son fenómenos independientes, ya que la contaminación es causante de degradación y esta última puede propiciar un aumento de la contaminación.

3.2.4 Análisis de motores eléctricos.

Comúnmente las únicas herramientas usadas por el personal de mantenimiento para detectar fallas en motores han sido un megger (medidor de aislamiento) y un ohmímetro.

Desdichadamente la información brindada es muy general y no precisa la zona de falla del motor en estudio. Es muy fácil el diagnóstico erróneamente si se confía solo en los resultados de un megger.

Por ejemplo, un corto entre espiras o entre fases puede perfectamente estar disparando un motor y al medir el aislamiento este está en buen estado. Ya que estas fallas aunque son un problema de aislamiento en el devanado podrían estar aisladas completamente de tierra y por lo tanto el megger no las detecta. Este tipo de anomalías deteriora rápidamente el devanado lo cual resultara en un futuro reemplazo u “overhaul” del motor.

También se ha usado el análisis por vibraciones para detectar fallas en el rotor, estator y excentricidad.

Sin embargo no preguntamos, estamos realmente diagnosticando todas las zonas posibles de falla en un motor?

Realmente la respuesta es simple, ni vibraciones, ni un ohmímetro ni un megger logran revisar todas las zonas de falla de un motor, entonces, la tecnología predictiva que está aplicando en su planta es suficiente para evaluar todos los componentes que pueden causar la falla de un motor?.

Las pruebas eléctricas aplicadas a un motor deben de ser confiables y nos deben dar un diagnostico completo de todas las zonas o áreas de falla de un motor. Las pruebas a realizar deben incluir pruebas tanto con motor energizado como con motor detenido. Las pruebas con motor detenido son de particular importancia en aquellos casos en que un motor se esté disparando y su puesta en funcionamiento puede terminar de dañarlo, o en el caso de pruebas de puesta en marcha al instalarse un nuevo equipo de producción.

Para el diagnóstico de un motor, se han establecido las siguientes zonas o áreas de fallas.

- 3.2.4.1 Circuito de Potencia. Generalmente se establece desde el Centro de Control del Motor (CCM) hasta la caja de bornes del mismo, e involucra a todos los conductores con sus bornes, interruptores, protecciones térmicas, fusibles, contactores y cuchillas.
- 3.2.4.2 Aislamiento. Cuando hablamos de la condición de aislamiento nos referimos a la resistencia que existe entre este a tierra (RTG, en ingles). La RTG indica que tan limpio o sano esta un aislamiento. Para que se de una falla a tierra, deben de ocurrir dos cosas. Primero debe crearse un camino de conducción a través del aislamiento. Conforme el aislamiento envejece se fisura y posibilita que se acumule material conductor. Segundo, la superficie exterior del aislamiento se contamina de material conductor y conduce suficiente corriente a la carcasa o núcleo del motor que está conectado a tierra.
- 3.2.4.3 Estator. En un estator es importante el diagnosticar: los devanados, el aislamiento entre vueltas, juntas de soldado entre las espiras y el núcleo del estator o laminaciones. Tal vez, la falla más común es un corto entre vueltas, esto reduce la habilidad de producir un campo magnético balanceado. Esto a la vez trae otras consecuencias como un aumento en la vibración de la máquina, y por ende degradación del aislamiento y daños a los rodamientos del motor. Generalmente este tipo de cortos aumenta la temperatura y el corto se expande a un corto entre espiras y eventualmente destruye todo el motor. Aún más grave que esta es la falla entre fases, un corto de este tipo acelera rápidamente la destrucción del motor.
- 3.2.4.4 Rotor. Cuando nos referimos a la condición de un rotor se deben de revisar; las barras, laminaciones y los anillos de corto circuito. Una barra rota genera un calor intenso en la zona de ruptura y puede destruir el aislamiento cercano a las laminaciones y el devanado estático

colapsara. Desdichadamente, muchas veces, los problemas en las barras del rotor no son fácilmente detectables con tecnologías comunes y se obvia como causa-raíz.

- 3.2.4.5 Excentricidad (entrehierro). El rotor de un motor / generador debe estar centrado, existe un claro entre estos denominado "Air Gap", si este Air Gap no está bien distribuido en los 360° del motor se producen campos magnéticos desiguales. Se ha discutido ampliamente el efecto adverso que provocan estos campos magnéticos desiguales que a la larga resultará en una falla en el aislamiento y falla en los rodamientos. Este problema se le conoce como excentricidad, existen básicamente dos tipos, la estática en la cual el rotor esta descentrado pero fijo en un lugar generalmente este tipo de problemas es causado cuando los alojamientos de los roles están desalineados, por un inadecuado alineamiento o por que la carcasa del motor fue torcida cuando se instalo en su base.
- 3.2.4.6 Calidad de energía. La calidad de energía ha sido ignorada en muchos casos por el personal de mantenimiento y sin duda es una zona de falla con mucha influencia en la vida de un motor. Existen varios factores involucrados en la calidad de energía; distorsión armónica tanto de voltaje como de corriente, picos de voltaje, desbalances de voltaje y factor de potencia son algunos de estos.

4. ANALISIS DE CRITICIDAD

4.1 DEFINICION

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. El análisis de criticidad permite así mismo identificar las áreas sobre las cuales se tendrá una mayor atención del mantenimiento en función del proceso que se realiza.

La información recolectada en un estudio de la criticidad puede ser utilizada para

- 4.1.1 Priorizar ordenes de trabajo de producción y mantenimiento.
- 4.1.2 Priorizar proyectos de inversión.
- 4.1.3 Diseñar políticas de mantenimiento.
- 4.1.4 Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.
- 4.1.5 Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.

4.2 PASOS PARA SU APLICACION

- 4.2.1 Identificación del proceso productivo para su análisis.
- 4.2.2 Organización del listado de equipos y sus códigos de identificación.
- 4.2.3 Depuración y clasificación de la información de paros y fallas.
- 4.2.4 Recolección de la información de las órdenes de trabajo cerradas.

- 4.2.5 Verificación de la información de tiempos de producción y mantenimientos programados del proceso en estudio.
- 4.2.6 Chequeo de la información del plan de mantenimiento sistemático.
- 4.2.7 Verificación del listado de repuestos asociados a los equipos.
- 4.2.8 Cuantificación de la criticidad y el riesgo.

La condición ideal es disponer de información estadística de los sistemas a evaluar que sea bien precisa, lo cual permite cálculos exactos y absolutos. Sin embargo desde el punto de vista práctico cuando no se dispone de una data histórica de excelente calidad, se debe recolectar la información directamente con el operador y el personal técnico de mantenimiento.

4.3 ECUACION Y PARAMETROS

La criticidad se mide por la ecuación.

CRITICIDAD = FRECUENCIA DE FALLA x CONSECUENCIA

Frecuencia de falla = Cantidad de paradas ocurridas en un año.

Consecuencia = Impacto en el tiempo + Impacto en la producción + Impacto en los costos + Impacto en la seguridad + Impacto hacia el entorno + impacto en la calidad del producto.

Los parámetros que se utilizan para elaborar las tablas de ponderación y el cálculo de la criticidad de los sistemas son los siguientes: seguridad, ambiente o entorno, producción, frecuencia de fallas, costos de reparación y tiempo promedio para reparar.

- 4.3.1 Impacto en la seguridad personal. Representa el riesgo de que sucedan eventos no requeridos que hagan daño a equipos e instalaciones y en los cuales pueda o no resultar lesionado.
- 4.3.2 Impacto ambiental. Indica el nivel de afectación del entorno causado por una falla en los equipos.
- 4.3.3 Impacto en la calidad del producto. En este se evalúa el impacto que la ocurrencia de una falla afectaría a las no conformidades del producto.
- 4.3.4 Impacto en producción. Se evalúa el impacto que tienen las fallas sobre la productividad del proceso.
- 4.3.5 Frecuencia de fallas. Establece las veces que falla un componente del sistema, por pérdida de su función (o que implique una parada), en un periodo de un año.
- 4.3.6 Costo de reparación. Se refiere al costo directo promedio por falla, requerido para restituir el equipo a sus condiciones óptimas de operación, incluye labor manual, materiales y transporte.
- 4.3.7 Tiempo medio para reparar. Es el tiempo promedio empleado para reparar las fallas, se calcula desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para funcionar.

En la tabla 1, podemos observar los parámetros utilizados para el cálculo de la criticidad.

Tabla 1. Parámetros de evaluación de la criticidad.

Frecuencia de Fallas	Factor	Impacto en la Producción	Factor
F ≤ 1	1	No afecta el proceso	0
F = 2	2	Baja la Productividad pero no genera parada	25
F = 3	3	Genera una parada de proceso	50
F = 4	4		
5 ≤ F	5		
Impacto Ambiental	Factor		
		Riesgo Ambiental Bajo: se toman acciones para el mejoramiento continuo	0
		Riesgo Ambiental Medio: Iniciar medidas para reducir el riesgo	25
		Riesgo Ambiental Alto: tomar acciones inmediatas para eliminar o reducir el riesgo sustancialmente	50
Impacto en la Seguridad	Factor		
		No afecta la seguridad	0
		Ocasiona lesiones o heridas graves con incapacidad temporales.	25
		Ocasiona lesiones con incapacidad permanente	50
Impacto en la Calidad del Producto	Factor		
		No afecta el producto	0
		Genera No Conformidades menores y son controlables	25
		Ocasiona quejas y reclamos con los clientes	50

Tiempo [Horas]	Factor
MTTR ≤ 1	0
1 < MTTR ≤ 4	25
4 < MTTR	50

Costo [Millones]	Factor
\$\$ < 2	0
2 ≤ \$\$ < 10	25
10 ≤ \$\$	50

Figura 9. Criterios para cuantificar el riesgo.

NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO NPR	OCURRENCIA										
	REMOTA	MUY BAJA	BAJA	OCASIONAL	MODERADA	ALTA	MUY ALTA	FRECUENTE	MUY FRECUENTE	SISTEMATICA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
S E V E R I D A D	SEGURIDAD ALTA	10	40	90	160	250	360	490	640	810	1000
	SEGURIDAD MODERADA	9	36	81	144	225	324	441	576	729	900
	EFFECTO AMBIENTAL	8	32	72	128	200	288	392	512	648	800
	MUY ALTA	7	28	63	112	175	252	343	448	567	700
	ALTA	6	24	54	96	150	216	294	384	486	600
	MODERADA	5	20	45	80	125	180	245	320	405	500
	BAJA	4	16	36	64	100	144	196	256	324	400
	MUY BAJA	3	12	27	48	75	108	147	192	243	300
	MENOR	2	8	18	32	50	72	98	128	162	200
	SIN EFECTO	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		SEGURA	ALTA	PROBABLE	INDIRECTA	SISTEMATICA	INFERENCIAL	NO SISTEMATICA	NO PLANIFICADA	SENSORIAL	SIN DETECCION
		DETECCION									

Tabla 2. Formato de tabla general para equipos críticos.

CODIGO	EQUIPO	ELE	MEC	HDR	NEU	POT	MEJ	TOT	TTR	TP	COSTO	RA	SIS	MTTR	MTBF	DIAS	UF	FI	FREC	TIEMPO	COSTO	lp	la	ls	lc	SEV	CRIT	Riesgo

5. RCFA

5.1 DEFINICION

El RCFA es un riguroso método de solución de problemas, para cualquier tipo de falla, que utiliza la lógica y un árbol de causas, que consiste en una representación visual de un evento de falla, en el cual el razonamiento por deducción y la verificación de los hechos conducen a las causas originales.

Es una herramienta de confiabilidad utilizada para determinar hasta tres niveles de causas para cualquier evento específico de falla.

Es una técnica de análisis que permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas.

5.2 CUANDO SE USA EL RCFA

5.2.1 Para detectar fallas crónicas (repetitivas), tales como fallas de equipos (generalmente problemas de mantenimiento).

5.2.2 Para detectar fallas esporádicas (una vez), tales como paradas de emergencia, incendios, explosiones, muertes, lesiones importantes, o fallas graves poco frecuente en los equipos.

5.2.3 En aspectos de mantenimiento tales como los esfuerzos de reducción de costos en el mantenimiento rutinario o una reducción en la duración y los costos de producción en las instalaciones.

5.2.4 En aspectos operativos tales como el descongestionamiento, interrupciones en las operaciones, reducción de uso de energía, reducción de gastos operativos, corridas más largas, mejoramiento de calidad y definición de incidentes ambientales.

5.3 PORQUE UTILIZAR EL RCFA

El RCFA es extremadamente útil y se ha comprobado que funciona.

5.3.1 Cuando se implementan las recomendaciones, se pueden recuperar más de \$100 por cada \$1 invertido en entrenamiento y en horas hombre comprometidas en una investigación. Ello supone que las fallas específicas que se investigan son las más relevantes.

5.3.2 Al identificar y corregir todas las causas raíz, no solo debe evitarse la recurrencia del problema inicial, sino que pueden eliminarse numerosos problemas con causas raíces similares.

5.3.3 Ayuda a proporcionar la capacidad de reconocer un patrón de fallas.

5.3.4 Reduce las frustraciones del personal de mantenimiento y operaciones.

5.3.5 Mejora las condiciones de seguridad industrial y ambiental y evita tiempos improductivos innecesarios.

5.4 PASOS PARA HACER UN RCFA

5.4.1 Responder a un incidente y conservar la evidencia.

Lo primero que se debe atender son los resultados del evento de falla. La más alta prioridad son la atención al personal lesionado y el poner las instalaciones en una condición segura.

Al igual que en la escena de un crimen, la evidencia durante y después de una falla comenzará a desaparecer con el tiempo. Una obtención de evidencia es especialmente crucial con las fallas esporádicas, puesto que el equipo solamente tiene una oportunidad para obtenerlas. Dependiendo de la magnitud del problema, puede ser mejor despejar el área hasta que se haya recogido toda la evidencia, sin iniciar reparaciones hasta que se haya terminado la investigación. Esto se puede hacer, por ejemplo, después de un caso de muerte o de incendio grave. De otra parte, la recolección de las pruebas de fallas crónicas se puede realizar simultáneamente con la realización de las reparaciones, pero se debe organizar apropiadamente.

Para conservar la evidencia de debe tener presente:

5.4.1.1 Las partes. Para fallas esporádicas, se debe acordonar el área según lo necesario, de manera que la evidencia no se manipule, mueva, “pierda”, etc. Se congela el área hasta que se haya recogido toda la información conocida y para fallas crónicas (y fallas en las que las partes puedan ser ocultadas), la evidencia se debe recoger inmediatamente. Un miembro del equipo investigador debe ser testigo del momento en que se descubre la evidencia siempre que sea posible.

- 5.4.1.2 La posición. Las posiciones de todas las partes y otras evidencias se deben fotografiar o filmar en video, siempre que sea posible. Se deben hacer diagramas mostrando lo que se encontró y donde, con orientación y distancias desde un punto fijo de referencia.
- 5.4.1.3 Las personas. Las entrevistas se deben realizar individualmente y sin el ánimo de buscar culpables, poco después de que haya ocurrido un evento y antes de que los testigos conversen entre ellos, siempre que sea posible. Los testigos oculares que estuvieron involucrados antes o durante el evento de falla algunas veces constituyen la evidencia más frágil. Las entrevistas pueden incluir a los operadores de campo o abordó, mecánicos, supervisores, bomberos, etc.
- 5.4.1.4 Los papeles. El papel también puede ser una forma frágil de evidencia. Por consiguiente, también se debe recopilar muy pronto después de ocurrida una falla.
- 5.4.1.5 Los paradigmas. Es importante romper los paradigmas. “Es que siempre lo hemos hecho de esta manera “. “Es que eso nunca se ha hecho “etc.

5.4.2 Organizar el grupo RCFA.

El RCFA es dirigido por un facilitador, quien ha recibido entrenamiento específico en la metodología RCFA.

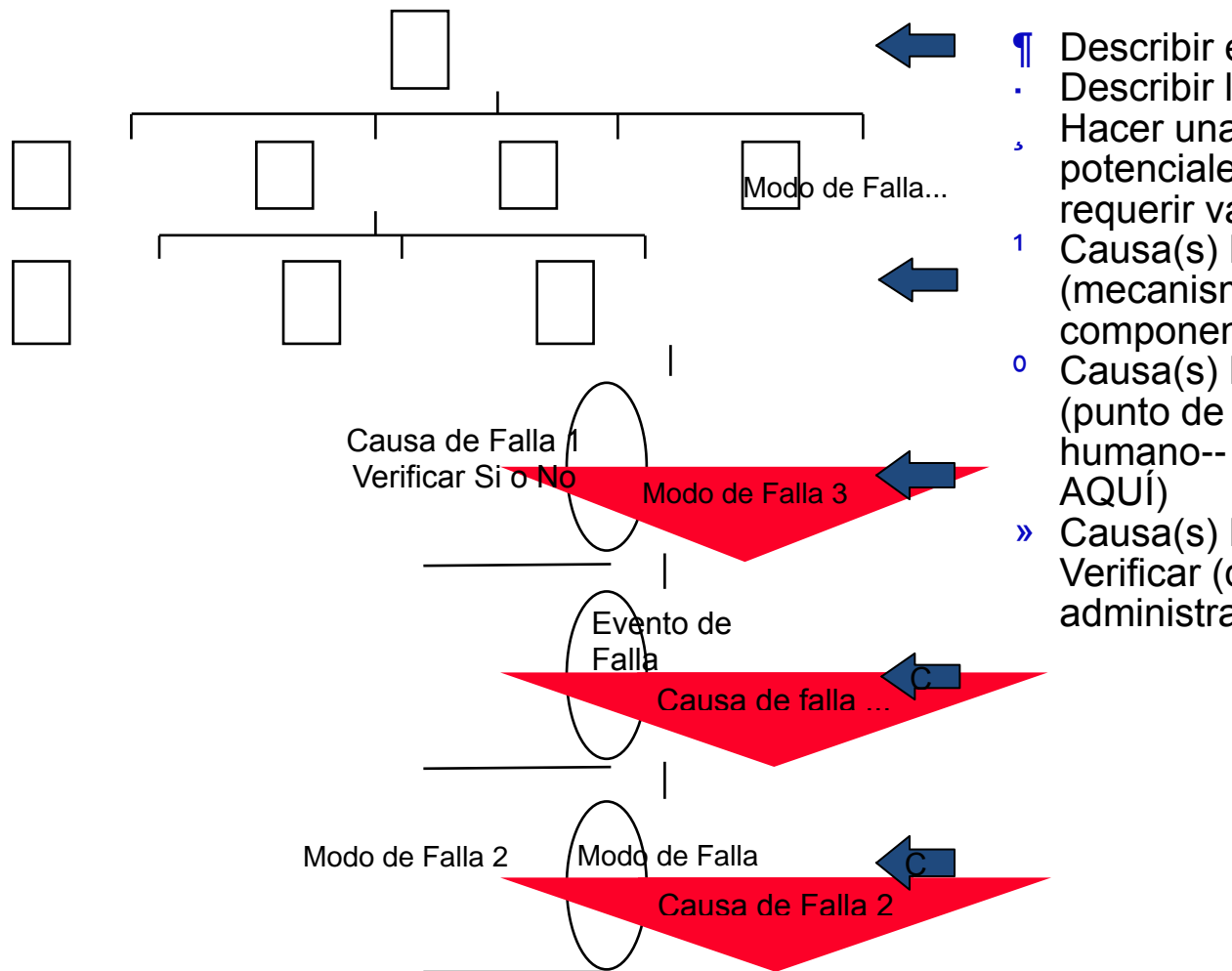
El resto del equipo lo conforma un grupo multifuncional que varía entre un problema y otro.

El equipo RCFA, por lo regular, podrá incluir:

- 5.4.2.1 Un operador familiarizado con el proceso operativo
 - 5.4.2.2 Un técnico (si se trata de equipos mecánicos, eléctricos, o de instrumentación)
 - 5.4.2.3 Un supervisor de primera línea
 - 5.4.2.4 Un ingeniero (químico, eléctrico, mecánico, o de otra especialidad)
 - 5.4.2.5 En ocasiones incluye especialistas tales como metalúrgicos, inspectores, especialistas de proceso, especialista de equipos rotativos, o proveedores
 - 5.4.2.6 Por lo menos una persona que ignora los eventos de fallas y sirve como crítico constructivo o abogado del diablo.
 - 5.4.2.7 La conformación del equipo variará según la falla que se investiga.
- 5.4.3 Analizar la falla y verificar las causas raíces.

Utilizar el árbol lógico de fallas con el cual se puede determinar las causas raíz físicas y humanas para cualquier tipo de falla.

Figura 10. Árbol lógico de fallas.



Buscar evidencia con hechos que soporten/verifiquen o desapruében cada causa potencial. De lo contrario, incluir “sin evidencia” o “no se puede probar” y a asignarle una probabilidad de que ésta sea la causa.

Los métodos de verificación pueden incluir:

- Observación Visual - Fotografía de alta velocidad, cámaras de video, luces estroboscópicas, observación humana

- Evaluación No-Destructiva - Técnicas de inspección con ultrasonido, rayos X, infrarrojos u otro tipo de inspección, Ferrografía (análisis de aceite), metalografía in-situ (remoción y análisis de metal), microscopía electrónica de scanner, análisis de esfuerzo, vibración, muestreo en laboratorio de fluido o gas, etc.
- Análisis de Datos - Regresión (tendencias), análisis de vibración, modelación, análisis de elementos finitos, análisis del espectro, etc.
- Algunos de los miembros del equipo pueden tener a su disposición estas especialidades. A otros se les puede asignar que coordinen con los proveedores o especialistas. El facilitador puede asumir algunas de estas funciones.

El análisis siempre debe continuar a través del Árbol Lógico RCFA a fin de determinar la Causa básica Física.

Es altamente recomendable continuar con el proceso a través de la(s) causa(s) raíz latente(s), puesto que la determinación de dichas causas puede eliminar una serie de fallas similares que se consideraban no relacionadas.

En ningún caso se debe detener la búsqueda de la causa básica humana, puesto que el uso indebido de este Paso puede afectar la disciplina del empleado y socavar los futuros esfuerzos de RCFA.

La Causa Humana es el punto de acción impropia o error humano.

Las acciones indebidas tales como una respuesta equivocada (o la falta de respuesta), la falla en observar las guías o procedimientos establecidos, los atajos para realizar una tarea, y las deficiencias de comunicación entre las cuadrillas o los turnos son un ejemplo de las causas básicas humanas típicas.

El buscar a una persona que haya podido “causar” este incidente en particular, no es el objetivo de esta parte de la investigación. NO se trata de una “cacería de brujas” o de culpar a nadie. Además, existe normalmente toda una cadena de eventos anteriores o posteriores al momento de la acción indebida. Si se culpa a una persona como resultado de una investigación RCFA, las futuras investigaciones probablemente se afectarán, ya que los individuos se mostrarán aprehensivos con respecto a los motivos.

Si es probable que alguien más haya hecho lo mismo en las mismas circunstancias, por lo general, hay una causa más detrás de la causa básica humana.

La investigación debe ser una búsqueda de los hechos, no una búsqueda de “culpables”. El objetivo es abordar la situación de una manera abierta, de manera que toda la organización pueda esforzarse en corregir las deficiencias y prevenir que vuelva a ocurrir.

Detrás de la mayoría de los errores humanos existe un sistema defectuoso, o un aspecto cultural de las instalaciones (Causa Básica / Falta de control).

La falta de algo o la deficiencia en algo, aspectos tales como los programas de capacitación, los procedimientos operativos (incluyendo el arranque o las paradas), el mantenimiento o los procedimientos, reglas, políticas y guías de seguridad industrial/medio ambiente dan lugar al error humano, lo cual conduce a su vez a la ocurrencia de fallas físicas.

Si se tolera una cultura en la que se ignoran los procedimientos, aunque haya una política establecida, esto también es un problema del sistema..

A esta altura en el proceso del Árbol Lógico RCFA, el razonamiento inductivo comienza y termina el razonamiento deductivo.

Ahora estarás pasando de las causas específicas a las generales. Este es el punto en el cual un mayor análisis puede ser algo político debido a que los sistemas de administración son algo menos que perfectos.

El detectar y modificar los problemas en el sistema de manejo no solamente evitarán que vuelva a ocurrir una sola falla, sino que posiblemente evitará una serie de otras fallas.

En esta fase, el equipo puede tropezar con varios problemas de consideración en los sistemas administrativos, de los cuales la falla que se está analizando puede ser solamente la punta del iceberg.

El árbol se debe concluir cuando la(s) causa(s) identificadas lleven a una solución satisfactoria para la empresa en la medida que asegure un control sobre la recurrencia de la misma, su consecuencia o ambos.

5.4.4 Comunicar los resultados.

Comunicar los resultados ha constituido el paso esencial al documentar los hallazgos en las investigaciones de RCFA y las recomendaciones asociadas con ello.

Estos hallazgos se deben analizar con el personal apropiado y pueden requerir de reuniones con la gerencia.

Un informe formal por lo general ayuda a obtener compromiso de la gerencia a resolver las fallas concentrándose en las causas raíz determinadas en la investigación.

El costo de implementar los resultados se debe sopesar frente al costo de la falla (multiplicado por la frecuencia de la falla).

Generalmente se derivará un ahorro sustancial de la eliminación de las fallas recurrentes o fallas esporádicas de importancia mediante la implementación de las recomendaciones.

5.4.5 Implementación de seguimiento.

El seguimiento de los resultados es por lo general el aspecto más ignorado en el proceso RCFA y es uno de los más importantes.

Los sistemas de seguimiento se deben colocar en sitio visible e incluir puntos tales como:

5.4.5.1 Lista de recomendaciones que hayan sido aprobadas.

5.4.5.2 Lista de personas asignadas a cada punto de acción.

5.4.5.3 Mostrar las fechas estimadas de completamiento y su estado actual.

5.4.5.4 Publicar los éxitos y mostrar los ahorros netos.

6. ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS

Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) es una metodología sistemáticamente dirigida que identifica los modos de falla potenciales en un sistema, proceso ó producto causados por deficiencias en los mismos. También identifica características de diseño o de proceso críticas o significativas que requieren controles especiales para prevenir o detectar los modos de falla. AMEF es una herramienta utilizada para prevenir los problemas antes de que ocurran.

6.1 HISTORIA DEL AMEF

Los AMEFs han estado por mucho tiempo. Antes de que cualquier formato documentado sea elaborado, los inventores y expertos del proceso tratan de anticiparse a lo que puede estar mal en un diseño o un proceso antes de que el mismo sea desarrollado. La prueba y error así como el conocimiento de cada falla son tanto costosos como consumidores de tiempo. Por ejemplo: cada interacción de un invento debe fallar mediante un experimento llevado por un grupo de ingenieros o inventores y aprovechar su conocimiento para reducir la probabilidad de que la falla ocurra.

Los AMEFs fueron formalmente introducidos a finales de los 40's mediante el estándar militar 1629. Utilizados por la industria aeroespacial / desarrollo de cohetes, los AMEF y el todavía más detallado Análisis Crítico del Modo y Efecto de Falla (FMECA) fueron de mucha ayuda en evitar errores sobre tamaños de muestra pequeños en la costosa tecnología de cohetes.

El principal empuje para la prevención de fallas vino durante los 60's mientras se desarrollaba la tecnología para enviar un hombre a la luna. Ford Motor Company

introdujo los AMEF en la industria automotriz a finales de los 70's para consideraciones de seguridad y requisitos regulatorios después del fracaso del modelo "Pinto". Ford Motor Company también utilizó los AMEFs efectivamente para mejoras en la producción y en el diseño.

El avance actual del AMEF ha venido del sector automotriz ya que los AMEFs son requeridos para todos los Diseños y Procesos a fin de asegurar la prevención de problemas. Integrado dentro de la Planeación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP), el AMEF en los formatos de Diseño y Proceso provee la principal herramienta para mitigar el riesgo dentro de la estrategia de prevención. Cada causa potencial debe ser considerada por su efecto sobre el producto o proceso y de acuerdo al riesgo las acciones deben ser determinadas y el riesgo recalculado después de que las acciones se han terminado. Toyota ha tomado este solo paso más allá con el proceso Revisión del Diseño Basada en Modos de Falla (RDBMF). RDBMF lleva al usuario a través del proceso de AMEF considerando todos los cambios intencionales e incidentales y sus efectos en el desempeño de un producto o proceso. Estos cambios enfocados en causas potenciales requieren acciones de seguimiento para resolver el riesgo. Las revisiones al Diseño son el principal lugar para verificar el progreso y anotar esos riesgos.

Análisis Robustos de las Matrices de Interfases, Diagramas de Límites y Diagramas de Parámetros son extremadamente importantes antes de un desarrollo del AMEF. Los factores de ruido y las interfases con otras partes y/o sistemas son donde un número muy grande de fallas se encuentran así que los ingenieros de diseño se enfocan en la manera de controlarlos directamente. Las interfases compartidas son un área donde muchas fallas ocurren actualmente.(*)

* Tomado de <http://www.quality-one.com/services/fmeaES.php>

6.2 DESARROLLO DEL AMEF

El estándar SAEJ1739 Surface Vehicle Standard, establece que para el desarrollo de un AMEF se requiere de una hoja de trabajo que contiene información importante de análisis. El encabezado debe incluir un nombre del proyecto, fecha de la última revisión, y organización, departamento, y grupo de individuos que son designados como responsables. Información adicional como el numero del AMEF, modelo del año, numero de programa, fecha de entrega (fecha objetivo de terminación del análisis), sistema/subsistema/componente, nombres del núcleo y miembros del equipo de soporte, y facilitador del equipo, etc. Puede ser documentado en el encabezado para proveer información de utilidad para el seguimiento y almacenamiento con el fin de recopilar información. Una lista de miembros del equipo incluyendo nombres y departamentos es opcional.

6.3 ETAPAS DEL AMEF

6.3.1 Preparación.

Se recomienda que sea un equipo multidisciplinario el que lo lleve a cabo.

Por ejemplo: el ingeniero responsable del sistema, producto o proceso de manufactura/ ensamble se incluye en el equipo, así como representantes de las áreas de Diseño, Manufactura, Ensamble, Calidad, Confiabilidad, Servicio, Compras, Pruebas, Proveedores y otros expertos en la materia que se considere conveniente.

6.3.2 Determinar el producto o proceso a realizar.

6.3.2.1 AMEF de diseño: Enumerar que es lo que se espera del diseño del producto, que es lo que quiere y necesita el cliente, y cuáles son los requerimientos de producción. Así mismo listar el flujo que seguirá el producto a diseñar, comenzando desde el abastecimiento de materia prima, el(los) procesos (s) de producción hasta la utilización del producto por el usuario final. Determinar las áreas que sean más sensibles a posibles fallas.

6.3.2.2 AMEF de procesos: Listar el flujo del proceso que se esté desarrollando, comenzando desde el abastecimiento de la materia prima, el proceso de transformación hasta la entrega al cliente (proceso siguiente). Determinar las áreas que sean más sensibles a posibles fallas. En el caso de empresas de servicios no hay materias primas, para estos caso se toman en cuenta las entradas del proceso.

6.3.3 Establecer los modos potenciales de falla.

Para cada una de las áreas sensibles a fallas determinadas en el punto anterior se deben establecer los modos de falla posibles. Modo de falla es la manera en que podría presentarse una falla o defecto.

Para determinar un modo de falla nos cuestionamos.

De qué forma podría fallar la parte o proceso?

Ejemplos: roto, flojo, fracturado, equivocado, deformado, agrietado, mal ensamblado, fugas, mal dimensionado.

6.3.4 Determinar el efecto de la falla.

Efecto: Cuando el modo de falla no se previene ni corrige, el cliente o el consumidor final pueden ser afectados.

Ejemplos: deterioro prematuro, ruidoso, operación errática, claridad insuficiente, paros de línea.

6.3.5 Determinar la causa de la falla.

Causa: Es una deficiencia que se genera en el Modo de Falla.

Las causas son fuentes de Variabilidad asociada con variables de entrada claves (KPIVs).

6.3.5.1 Causas relacionadas con el diseño (características de la parte)

- Selección de Material
- Tolerancias / valores objetivo
- Configuración
- Componente de Modos de Falla a nivel de Componente

6.3.5.2 Causas que no pueden ser Entradas de Diseño, tales como:

- Ambiente, Vibración, Aspecto Térmico

6.3.5.3 Mecanismos de Falla

- Rendimiento, Fatiga, Corrosión, Desgaste

6.3.6 Describir las condiciones actuales.

Anotar los controles actuales que estén dirigidos a prevenir o detectar la causa de la falla.

6.3.6.1 Evitar o eliminar causas de falla.

6.3.6.2 Identificar o detectar falla anticipadamente.

6.3.6.3 Reducir impactos / consecuencias de falla.

6.3.7 Determinar el grado de severidad.

La norma SAEJ1739 sugiere unos criterios, sin embargo se han establecido los siguientes:

Tabla 3. Criterios sugeridos para determinar el grado de severidad.

RANGO	CATEGORIA	CRITERIO
10	SEGURIDAD ALTA	Perturbación del proceso que genera un fallo sin advertencia y pone en peligro la integridad del operador y el equipo
9	SEGURIDAD MODERADA	Perturbación del proceso que genera un fallo que afecta la seguridad con advertencia
8	EFFECTO AMBIENTAL	Perturbación del proceso que genera un impacto ambiental
7	SEVERIDAD MUY ALTA	Perturbación alta del proceso que genera un paro mayor a un Turno
6	SEVERIDAD ALTA	Perturbación alta del proceso que genera una parada menor a un Turno
5	SEVERIDAD MODERADA	Perturbación alta del proceso que genera NC y reducción de la productividad
4	SEVERIDAD BAJA	Perturbación media del proceso que genera NC controlable con efecto posterior
3	SEVERIDAD MUY BAJA	Perturbación media del proceso, genera NC controlable sin efecto posterior
2	EFFECTO MENOR	Perturbación menor del proceso, operador y equipo.
1	SIN EFECTO	Ningun Efecto en consideración

6.3.8 Determinar el grado de ocurrencia.

Tabla 4. Criterios sugeridos para determinar el grado de ocurrencia

RANGO	CATEGORIA	CRITERIO
10	FALLO SISTEMÁTICO	Probabilidad recurrente de falla. (Mas de un fallo al día).
9	MUY FRECUENTE	Muy alta probabilidad de falla. (Una vez por día).
8	FALLA FRECUENTE	Muy alta probabilidad de falla. (Una vez cada 3 días).
7	OCURRENCIA MUY ALTA	Alta probabilidad de falla. (Una vez cada semana).
6	OCURRENCIA ALTA	Alta probabilidad de falla. (Una vez cada mes).
5	OCURRENCIA MODERADA	Media probabilidad de falla. (Dos fallas por año).
4	FALLOS OCASIONALES	Baja probabilidad de falla. (Una vez cada año).
3	BAJA OCURRENCIA	Baja probabilidad de falla. (Una vez cada 2 años).
2	MUY BAJA OCURRENCIA	Muy Baja probabilidad de falla. (Una vez cada 5 años).
1	FALLA REMOTA	Probabilidad de falla remota. (Una vez cada 10 años).

6.3.9 Determinar el grado de detección.

Tabla 5. Criterios sugeridos para determinar el grado de detección

RANGO	CATEGORIA	CRITERIO
10	SIN DETECCIÓN	No existe control.
9	DETECCIÓN SENSORIAL	Detección usando los sentidos.
8	DETECCION NO PLANIFICADA	Existe control de verificación manual no planificado
7	CHECK LIST NO SISTEMÁTICO	Existe una verificación manual (Check List) no sistemático
6	DETECCIÓN INFERENCIAL	Existe control de verificación manual de una muestra (Equipo o Producto) sistemático
5	CHECK LIST SISTEMÁTICO	Existe control de verificación manual (Check List) sistemático
4	DETECCIÓN INDIRECTA	Existe un control automático de verificación indirecto
3	DETECCION PROBABLE	Existe control automático de verificación con probabilidad baja de detección.
2	DETECCIÓN ALTA	Existe control automático de verificación con probabilidad alta de detección de fallos.
1	DETECCIÓN SEGURA	Detección y prevención asegurada. Probabilidad asegurada de detección.

6.3.10 Calcular el número de prioridad de riesgo (NPR).

Es un valor que establece una *jerarquización* de los problemas a través de la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección, éste provee la prioridad con la que debe de atacarse cada modo de falla, identificando ítems críticos.

$NPR = \text{Grado de Ocurrencia} * \text{Severidad} * \text{Detección}.$

Prioridad de NPR:

500 – 1000 : Alto riesgo de falla

125 – 499 : Riesgo de falla medio

1 – 124 : Riesgo de falla bajo

0 : No existe riesgo de falla

Se deben atacar los problemas con NPR alto, así como aquellos que tengan un alto grado de ocurrencia no importando si el NPR es alto o bajo.

6.3.11 Acciones recomendadas.

Anotar la descripción de las acciones preventivas o correctivas recomendadas, incluyendo responsables de las mismas. Anotando la fecha compromiso de implantación. Se pueden recomendar acciones encaminadas hacia:

6.3.11.1 Eliminar o disminuir la OCURRENCIA de la causa del modo de falla. (Modificaciones al diseño o al proceso, Implementación de métodos estadísticos, ajuste a herramental, etc.

6.3.11.2 Reducir la SEVERIDAD del modo de falla. (Modificaciones en el diseño del producto o proceso).

6.3.11.3 Incrementar la probabilidad de DETECCIÓN. (Modificaciones en el diseño del producto o proceso para ayudar a la detección).

7. MODELO DE OPTIMIZACION

El modelo de optimización para el mantenimiento proactivo de los equipos críticos de un tren de laminación en frío, se desarrolla bajo los principios del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM mediante el uso de herramientas como: Análisis de criticidad, análisis causa raíz, análisis de modos y efectos, monitoreo de condiciones; con el fin de optimizar la planeación de las actividades de mantenimiento preventivo.

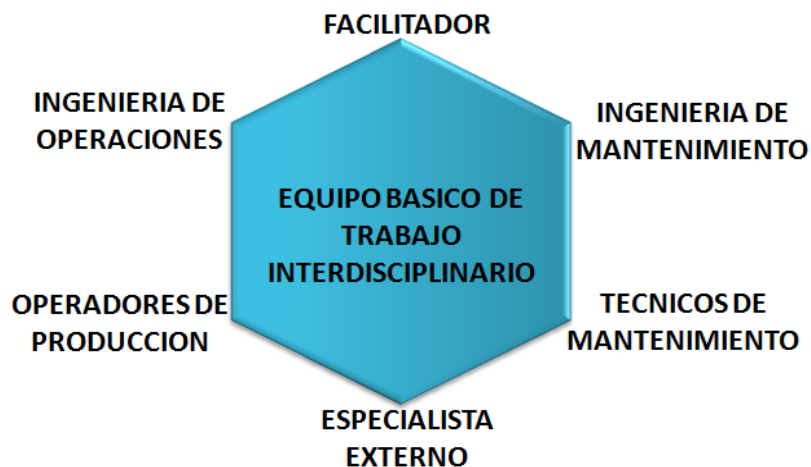
Figura 12. Modelo de optimización.



Cabe destacar la importancia de conformar un equipo de trabajo interdisciplinario con conocimiento y experiencia en los procesos, de tal manera que se puedan obtener resultados de manera más efectiva al utilizar las herramientas y metodologías de análisis mencionadas.

La conformación de un grupo básico de trabajo interdisciplinario encabezada por un líder facilitador, un especialista externo, acompañados del personal de operaciones y el personal de mantenimiento, garantizan que el análisis de toda la información obtenida sea de gran credibilidad y profundidad. Cabe destacar que dependiendo de la criticidad del equipo y/o proceso, el grupo de trabajo puede ser ampliado con más integrantes quienes se encuentren directamente relacionados con las fallas y eventos en cuestionamiento, tales como el personal de gestión y aseguramiento de la calidad, el personal de gestión ambiental, ingeniería de proyectos y mejoramiento continuo.

Figura 13. Equipo básico de trabajo RCM.



Fuente: autor

El resultado esperado de aplicar esta metodología en el proceso de laminación en frío corresponde a priorizar y optimizar las actividades de mantenimiento que actualmente se llevan a cabo.

7.1 VENTAJAS DE LA METODOLOGIA

- 7.1.1 Reducción de los costos de mano de obra, repuestos y materiales en los mantenimientos programados.
- 7.1.2 Disminución de la probabilidad de ocurrencia de accidentes y averías durante el proceso.
- 7.1.3 Control y conservación del ciclo de vida de los equipos.
- 7.1.4 Aseguramiento de la calidad y reducción de las No conformidades del producto.
- 7.1.5 Disminución y control del impacto ambiental en el proceso.
- 7.1.6 Aumento de la disponibilidad y confiabilidad del proceso.
- 7.1.7 Mejoramiento de la mantenibilidad en las reparaciones.
- 7.1.8 Mejora en la comprensión del funcionamiento de los equipos y procesos.

7.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL MEDIANTE IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS.

El primer paso consiste en jerarquizar de mayor a menor valor de criticidad el listado de los equipos involucrados en el proceso con el fin de aplicar primero las estrategias de mantenimiento proactivo primero a aquellos que representen mayor impacto en el proceso.

Esta jerarquización está basada en factores tales como:

- 7.2.1 Rata de fallas y tiempo medio de reparaciones.
- 7.2.2 Costos de paradas o costos por pérdidas de producción.
- 7.2.3 Costo de reemplazo del equipo.
- 7.2.4 Costo de mantenimiento o costo de repuestos.
- 7.2.5 Costo del ciclo de vida del equipo.
- 7.2.6 Costo del sistema de monitoreo.
- 7.2.7 Consecuencias o daños secundarios.
- 7.2.8 Impacto a la calidad del producto.
- 7.2.9 Impacto a la seguridad y medio ambiente.

Esta información se alimenta del historial de paros y fallas, en donde se registran todos los eventos de parada de los procesos, allí se clasifican las fallas por su naturaleza en Eléctricas, Mecánicas, Proceso, Externas y estas a su vez se subdividen en tipos de paradas de acuerdo a la causa que originó la detención del proceso.

En el análisis de esta información se obtiene la frecuencia y el tiempo acumulado de paradas de un equipo durante un rango de tiempo de proceso.

Por otro lado, de la información obtenida del registro de intervenciones registradas en las órdenes de trabajo, se extracta el costo de las paradas acumuladas.

Otras informaciones tales como: Tiempos de producción, repuestos, plan de mantenimiento, también son tenidas en cuenta para la jerarquización de equipos de acuerdo a su criticidad.

7.3 REVISIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO INICIAL

La planeación en el contexto del mantenimiento se refiere al proceso mediante el cual se determinan y preparan todos los elementos requeridos para efectuar una tarea antes de iniciar el trabajo. El proceso de planeación comprende todas las funciones relacionadas con la preparación de las actividades antes de programar y convertirlas en órdenes de trabajo.

Para realizar un chequeo de todas y cada una de las actividades que se encuentran registradas en el sistema CMMS, un plan de mantenimiento óptimo debe cumplir con las siguientes condiciones:

- 7.3.1 Lista de equipos identificados con su código, descripción, función, ubicación, marca, año de instalación etc.
- 7.3.2 La descripción de la actividad debe ser completa. Identificar la acción a ejecutar y la parte del equipo o zona de proceso que se interviene.
- 7.3.3 Debe contener identificada la frecuencia y secuencia en el tiempo para su ejecución así como el establecimiento de los métodos y procedimientos.
- 7.3.4 El recurso humano debe estar plenamente identificado en especialidad y cantidad de personas, horas hombre.

- 7.3.5 Identificar y verificar existencia de repuestos, materiales, equipos y herramientas necesarias para su ejecución.
- 7.3.6 Contener los procedimientos de seguridad e identificación de riesgos.
- 7.3.7 El cumplimiento de las actividades planeadas debe seguir la frecuencia registrada.
- 7.3.8 Debe contener el tipo de mantenimiento, Preventivo, Correctivo, Predictivo.

7.4 REVISIÓN DE MANUALES Y EQUIPOS.

Con el fin de garantizar que la información relacionada con un equipo sea lo más confiable posible, un manual de mantenimiento deberá contener la siguiente información básica.

7.4.1 Información de diseño e instalación.

7.4.2 Registro de datos de pruebas en fábrica

7.4.3 Estándares, capacidades del equipo.

7.4.4 Referencias y listado de partes.

7.4.5 Esquemas y planos.

7.4.6 Condiciones de operación.

7.4.7 Plan de mantenimiento y recomendaciones.

7.4.8 Guía de solución de problemas. Caza Fallas.

Esta información debe reposar en varias copias, oficinas de mantenimiento, talleres técnicos y debe contener una copia digital en un servidor destinado a planos, esquemas.

Se deben registrar todas las modificaciones realizadas a los equipos, rediseños, planos, ubicación.

Esta información debe ser revisada y actualizada periódicamente con el fin de mantener confiable la documentación necesaria para las reparaciones e investigaciones en caso de daños, mejoras etc.

Estar en constante comunicación con el proveedor fabricante para mantener actualizada la base de datos de repuestos, lista de partes, evitará sorpresas a la hora de las reparaciones.

Comunicar a todos los funcionarios de mantenimiento de estas modificaciones y ubicación de la información brinda un buen respaldo a la hora de intervenir de emergencia cualquier equipo a cualquier hora.

7.5 IDENTIFICACIÓN DE FUNCIONES PRINCIPALES Y ESTÁNDARES DE FUNCIONAMIENTO.

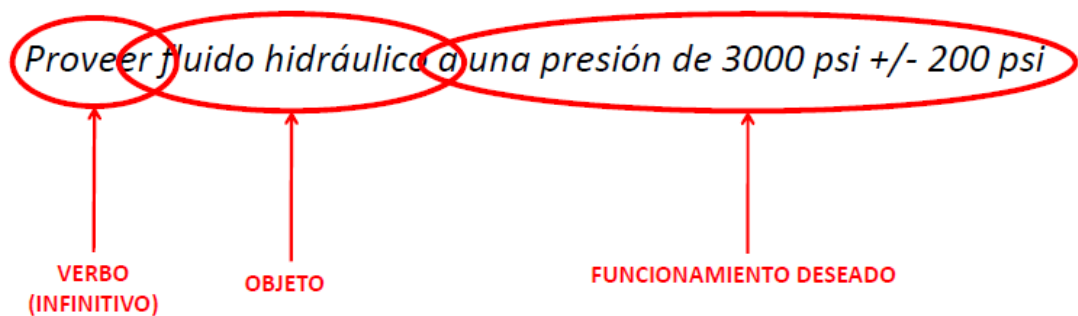
Todo aquello que el usuario espera que el activo o sistema lleve a cabo dentro de sus estándares de diseño o desempeño se denomina función.

Las organizaciones adquieren sus activos por una, probablemente dos y en muy pocas veces por tres razones o más. Estas comúnmente dan razón de su función principal y son las que se conocen función primaria.

Las funciones complementarias que deben darse en un activo para poder cumplir sus funciones primarias, se conocen como funciones secundarias.

La definición de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario.

Figura 14. Definición de una función.



Fuente : Autor.

Antes de realizar el análisis causa raíz mediante el árbol lógico de fallas, es importante identificar y describir de manera completa las funciones de un equipo. Estas serán los insumos necesarios para identificar fácilmente los modos de fallo del sistema, proceso o equipo.

Las funciones denominadas secundarias en los equipos también son tenidas en cuenta para identificar otros modos de falla que puedan tener alguna correlación con las funciones principales.

Los estándares de funcionamiento sirven de referencia para identificar alarmas mediante inspecciones visuales o monitoreadas mediante técnicas predictivas.

7.6 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ MEDIANTE ÁRBOL LÓGICO DE FALLAS.

Mediante una representación gráfica de los modos de falla, se analizan las posibles causas de falla hasta la causa raíz.

Mediante este análisis se tiene la posibilidad de centrar la atención en los hechos relevantes. Adicionalmente conduce la investigación hacia causas latentes.

Esta presentación gráfica permite, igual que el diagrama de Ishikawa, resumir y presentar las causas, conclusiones y recomendaciones.

Es, por tanto, una herramienta de análisis muy recomendable para realizar la fase el análisis de fallas y determinar sus causas.

Los pasos a seguir para la construcción del árbol de fallos son:

7.6.1 Determinar el evento de la falla.

Se debe identificar el evento que se quiere analizar, desde este punto se concentra el análisis para iniciar con la determinación de todas los modos de falla posibles que anteceden el evento principal.

7.6.2 Descripción de los Modos de Falla.

Se enuncian todas las hipótesis de falla relacionadas con:

7.6.2.1 Maquinas/Equipos (capacidad de la maquina, ajustes iniciales de programación, desgaste de la maquina a través del tiempo, sincronización/ventilación inadecuada, lubricación inadecuada o sin lubricación, desgaste de herramientas con el tiempo, rotura de herramientas, diferencias de herramienta a herramienta, tolerancia de accesorio, ajuste de tolerancias, desgaste del accesorio con el tiempo,

chip en localizador, localizador usado, curso de soldadura demasiado alto o bajo, presión de soldadura, tratamiento térmico de la temperatura muy alto o bajo, mantenimiento del equipo incluyendo reparaciones, reemplazos, re-ensamblaje, y ajuste.

7.6.2.2 Métodos/sistemas (secuencia, procedimientos, diseño, trabajo fuera de línea, inspección fuera de línea, flujo de material, programación de control del proceso, etc.)

7.6.2.3 Materiales/Componentes (Parte faltante, parte desubicada, llegada de materia crudo, partes compradas, operaciones previas)

7.6.2.4 Mano de obra/operador (torque sobre el manual, torque por debajo del manual, habilidad del operador, factores ergonómicos, tiempo, anuncios visuales, etc.)

7.6.2.5 Medio ambiente (temperatura de la planta, humedad, polvo, ruido, etc.)

Luego de hacer las pruebas de verificación de cada una de las posibles fallas, se selecciona las que presente la más alta probabilidad de resultados positivos ante las hipótesis planteadas.

Se determina las tres posibilidades:

La Causa Raíz Física. Verificación el mecanismo de falla a nivel de componentes.

La Causa Raíz Humana. Verificación del punto de acción indebida.

La Causa Raíz Sistema. Verificación del defecto en el sistema de gestión.

Finalmente se deben plantear las acciones correctivas y preventivas para controlar y erradicar la aparición de estas causas.

7.7 IDENTIFICACIÓN DE LOS MODOS Y EFECTOS DE FALLAS.

Una vez identificadas las funciones y las diferentes causas posibles de los eventos, el siguiente paso es identificar cada uno de los modos de falla y analizar sus consecuencias sobre el proceso, equipo o componente.

Los modos de falla incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

La mayoría de los modos de fallas contienen fallas causadas por deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de fallas en los equipos puedan ser identificadas y resueltas adecuadamente, esta lista debería incluir fallas causadas por errores humanos y errores de diseño.

También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentando tratar síntomas en lugar de causas reales.

Por otro lado se igualmente importante asegurarse de no malgastar el tiempo en el análisis mismo al concentrarse demasiado en los detalles.

Bajo la Norma SAEJ1739 se pueden registrar la descripción de las funciones, esta descripción ha de ser lo más completa posible, los modos de fallas los cuales corresponden a la manera como puede darse un evento de tal forma que no se cumpla la función y sus consecuencias sobre el proceso, seguidamente se analiza las acciones de detección que se están llevando a cabo para anticiparse a la falla funcional.

7.8 CUANTIFICACIÓN DE LA CRITICIDAD MEDIANTE EL NPR.

Después de registrar todos los modos y efectos de fallo del equipo, se procederá a calificar cada uno de acuerdo a los criterios de ocurrencia, severidad y detección establecidos y sugeridos por la Norma SAEJ1739.(*)

Para la jerarquización de estos modos de fallo se usa el Número de prioridad de riesgo (NPR) y número de criticidad (SO).

El número de prioridad de Riesgo (NPR) es el producto de la severidad (S), ocurrencia (O), y detección (D). Dentro del alcance del AMEF individual, este valor (entre "1" y "1000"). El uso del NPR es opcional.

$$\text{NPR} = (\text{S}) * (\text{O}) * (\text{D})$$

El número de prioridad de riesgo es una de las muchas herramientas disponibles del equipo para evaluar riesgos potenciales. Provee un indicador de mejoras (antes y después de tomar la acción) eso reduce cualquier otro factor de severidad, ocurrencia, o detección. El número de prioridad de riesgo es una herramienta disponible para permitir revisiones externas por parte de otros equipos que necesiten compartir en el proceso de evaluación de los riesgos y contribuir a la mitigación de los riesgos.

Las clasificaciones finales del NPR son relativas con un análisis particular y son subjetivas; y es por eso que seleccionar un umbral del NPR no es una práctica aceptable. En otras palabras no hay ningún valor por encima del cual sea obligatorio tomar acciones recomendadas o por debajo donde el equipo es automáticamente excusado de una acción.

En la aplicación de umbrales (NPR o SO) se asume que los NPR son mediciones del riesgo relativo (los cuales a menudo no lo son) y ese mejoramiento continuo

* SAE J1739 JAN2009

no es requerido (lo cual si es). Por ejemplo, si el usuario aplica un umbral arbitrario de 100 al siguiente, el proveedor deberá tomar acción en el ítem B con un NPR de 112.

Tabla 6. Comparación del NPR.

Item	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
A	9	2	5	90
B	7	4	4	112

En este ejemplo el NPR es mayor en el ítem B que en el A. Sin embargo la prioridad del trabajo debería tomarse en A con la mayor severidad 9, aunque su NPR es 90 lo cual menor y esta debajo del umbral. Establecer tales umbrales puede promover el mal comportamiento lo cual le causa al equipo el gastar tiempo tratando de justificar una ocurrencia más baja o un número de detección para reducir el NPR. Este tipo de comportamientos evitan el direccionar los problemas reales que reside en la causa del modo de falla y meramente mantiene el NPR debajo del umbral. Es importante el reconocer que la determinación de un riesgo razonable es deseable, esto debería basarse en un análisis de severidad, ocurrencia y detección y no a través de la aplicación de umbrales del NPR.

El número de prioridad de la severidad y ocurrencia (SO) es el producto de la clasificación de la severidad y la ocurrencia. Es algunas veces mencionado o hace referencia al número de criticidad. Dentro del alcance de AMEFs individuales, este valor (entre “1” y “100”). El uso del SO es una alternativa al NPR y es opcional.

Con el uso de este índice, la organización quizás se enfoque en cómo reducir el SO reduciendo el valor de “O” a través de acciones preventivas. Más allá esto podría llevar a la detección subsecuente de mejoras para aquellos con los valores SO más altos.

Tabla 7. Contraste entre el SO y NPR.

Clasificaciones de S,O,D	NPR	SO
8,10,2	160	80
8,2,10	160	16
10,8,2	160	80
10,2,8	160	20
2,10,8	160	20
2,8,10	160	16

7.9 DETERMINACIÓN DE LAS ACCIONES PREVENTIVAS Y PREDICTIVAS CON SUS RESPONSABLES.

Para determinar las acciones proactivas necesarias para disminuir la probabilidad de ocurrencia y el impacto de los modos de falla, se hace necesario plantear acciones preventivas y predictivas cuyo objetivo principal sea hacer que las funciones principales de los equipos se pueda cumplir en su totalidad, garantizando de esta manera la confiabilidad.

Las estrategias planteadas deben considerar todas las etapas anteriores.

7.9.1 Análisis de criticidad.

7.9.2 Conocimiento técnico de los equipos.

7.9.3 Plan sistemático asociado a los equipos.

7.9.4 Repuestos asociados de respaldo confiables y en existencia.

7.9.5 Asignación y entrenamiento del recurso técnico especializado.

7.9.6 Seguimiento de las condiciones de operación.

7.9.7 Monitoreo de los estándares de funcionamiento.

7.9.8 Análisis Causa Raíz.

7.9.9 Identificación de funciones y modos de fallo.

7.9.10 Cuantificación de la criticidad.

De acuerdo al análisis realizado en el AMEF según la norma SAE J1739, las tareas proactivas estarán encaminadas a mejorar los indicadores de: ocurrencia, severidad y detección.

Concretamente lo que se determina es la planeación de actividades encaminadas al control y disminución de los indicadores mencionados.

Tareas orientadas a disminuir la probabilidad de ocurrencia.

Tareas dirigidas a mitigar el impacto en la seguridad, medio ambiente, la calidad y el costo.

Tareas soportadas en las técnicas de análisis predictivo que garantizan una mejor calidad en las estrategias de detección.

7.10 ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO FINAL.

Finalmente el resultado de esta metodología es un plan de mantenimiento optimizado que garantiza la confiabilidad de los equipos y por consiguiente los sistemas y procesos, teniendo en cuenta todos y cada uno de los criterios establecidos.

7.10.1 Lista de equipos identificados con su código, descripción, función, ubicación, marca, año de instalación etc.

7.10.2 La descripción de la actividad debe ser completa. Identificar la acción a ejecutar y la parte del equipo o zona de proceso que se interviene.

7.10.3 Debe contener identificada la frecuencia y secuencia en el tiempo para su ejecución así como el establecimiento de los métodos y procedimientos.

7.10.4 El recurso humano debe estar plenamente identificado en especialidad y cantidad de personas, horas hombre.

7.10.5 Identificar y verificar existencia de repuestos, materiales, equipos y herramientas necesarias para su ejecución.

7.10.6 Contener los procedimientos de seguridad e identificación de riesgos.

7.10.7 El cumplimiento de las actividades planeadas debe seguir la frecuencia registrada.

7.10.8 Debe contener el tipo de mantenimiento, Preventivo, Correctivo, Predictivo.

En el plan de mantenimiento deben estar contenidas todas las acciones correctivas, preventivas y predictivas como resultado del análisis de modos y efectos de las fallas.

8. APLICACIÓN DEL MODELO A UN EQUIPO CRITICO DEL LAMINADOR

Para efectos de ejercicio práctico, se aplica este modelo de optimización a los equipos críticos del proceso de laminación en frío, determinados mediante los pasos descritos en el numeral 4.

De esta manera se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 8. Equipos Críticos.

CODIGO	EQUIPO	ELE	MEC	HDR	NEU	POT	MEJ	TOT	TTR	TP	COSTO	RA	SIS	MTTR	MTBF	DIAS	UF	FI	FREC	TIEMPO	COSTO	lp	la	ls	lc	SEV	CRIT	Riesgo
L001	SISTEMA HIDRAULICO	4	1	28	0	0	0	33	87:34	7083:11	\$ 29.766.101	106	23	02:39	214:38	8,9	24,6	1M	5	25	50	50	50	50	275	1375	ALTA	
L002	MEDIDORES DE ESPESOR	2	26	4	0	0	0	32	38:20	3705:45	\$ 3.029.970	52	1	01:11	115:48	4,8	12,2	1M	5	25	25	50	25	25	0	150	750	MEDIA
L003	MEDIDOR DE PLANITUD	23	8	0	0	0	0	31	23:07	7083:11	\$ 4.245.644	17	0	00:44	228:29	9,5	13,8	1M	5	0	25	50	0	25	0	100	500	MEDIA
L004	TANQUES DE DISPERSION	7	21	0	3	0	0	31	122:49	5215:25	\$ 2.374.844	54	1	03:57	168:14	7,0	47,7	1M	5	25	25	25	0	50	25	150	750	MEDIA
L005	TRANSFORMADORES DE ALIMENTACION	14	16	0	0	0	0	30	164:16	3013:34	\$ 32.441.849	95	3	05:28	100:27	4,2	13,3	1M	5	50	50	25	50	50	275	1375	ALTA	
L006	SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	15	10	0	0	0	0	25	23:09	2907:57	\$ 491.608	38	1	00:55	116:19	4,8	49,1	1M	5	0	0	25	0	25	25	75	375	MEDIA
L007	SISTEMA DE RIEGO	3	19	1	0	1	0	24	139:50	3705:45	\$ 15.127.917	55	1	05:49	154:24	6,4	10,9	1M	5	50	50	50	0	25	25	200	1000	ALTA
L008	VARIADORES DE VELOCIDAD	21	2	0	0	0	0	23	60:24	5215:25	\$ 1.717.940	16	1	02:37	226:45	9,4	57,9	1M	5	25	0	25	0	25	25	100	500	MEDIA
L009	EQUIPO DESMONTAJE CILINDROS	2	16	3	0	0	0	21	124:18	4117:52	\$ 3.093.230	64	1	05:55	196:05	8,2	40,6	1M	5	50	25	25	0	25	0	125	625	MEDIA
L010	BOMBAS DE DISPERSION	6	8	0	0	0	7	21	44:23	2907:57	\$ 4.689.566	58	2	02:06	138:28	5,8	19,1	1M	5	25	25	50	0	25	25	150	750	MEDIA
L011	TORRES DE ENFRIAMIENTO	16	1	0	0	0	3	20	15:33	8428:51	\$ 1.372.439	161	8	00:46	421:26	17,6	17,5	1M	5	0	0	50	25	50	50	175	875	ALTA
L012	MOTORES PRINCIPALES	5	14	1	0	0	0	20	33:46	3705:45	\$ 3.189.093	33	1	01:41	185:17	7,7	39,3	1M	5	25	25	50	0	25	25	150	750	MEDIA
L013	SISTEMAS DE LUBRICACION	6	12	0	0	0	0	18	21:23	3705:45	\$ 770.527	35	1	01:11	205:52	8,6	45,6	1M	5	25	0	50	25	50	25	175	875	ALTA
L014	SISTEMA DE GUIADO	3	13	0	0	0	0	16	14:03	7013:25	\$ 2.976.594	42	2	00:52	438:20	18,3	24,4	1M	5	0	25	50	0	50	50	175	875	ALTA
L015	INTERCAMBIADORES DE CALOR	14	0	0	0	0	0	14	27:35	2161:21	\$ 2.657.016	2	1	01:58	154:22	6,4	93,7	1M	5	25	25	50	0	25	0	125	625	MEDIA
L016	SISTEMA DE FRENAO DINAMICO	13	1	0	0	0	0	14	37:09	3610:08	\$ 779.126	6	1	02:39	257:52	10,7	48,0	1M	5	25	0	50	25	25	25	150	750	MEDIA

8.1 ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL Y EQUIPOS CRITICOS

Como se puede observar en la tabla 8, el sistema hidráulico de bombeo del laminador es el equipo más crítico del proceso con una criticidad calculada teniendo en cuenta los parámetros mencionados en el capítulo 4, por lo tanto el análisis se centrara especialmente en este sistema.

En la tabla se puede observar que para este equipo se registraron 4 fallas de clase eléctrica, 1 falla de clase mecánica y 28 fallas relacionadas con la parte hidráulica para un total de 33 fallas en el año 2009, mientras que para el año 2010 se

registraron en total 27 fallas en total de las cuales 12 fueron de la parte hidráulica las cuales están relacionadas por causas diferentes.

Analizando las consecuencias de estas paradas, tenemos un tiempo perdido total de 87:34 horas, un costo de reparaciones de \$29'766,101 pesos, además de los impactos no cuantificados en el medio ambiente por los derrames de aceite, impacto en la calidad del producto por la mala regulación del sistema de bombeo y el potencial impacto en la seguridad de los operarios y técnicos de mantenimiento por las reparaciones de emergencia a las cuales se ven sometidos.

Teniendo en cuenta los valores registrados de MTTR y MTBF podemos calcular la disponibilidad inherente para el sistema de bombeo.

$$\text{Disponibilidad} = \text{MTBF} / \text{MTBF} + \text{MTTR}$$

$$\text{Disponibilidad} = 214:38 \text{ horas} / (214:38 \text{ horas} + 2:39 \text{ horas})$$

$$\text{Disponibilidad} = 0.9877$$

Por otro lado aplicando la ecuación para la calcular la criticidad del sistema hidráulico se tiene:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Criticidad = Frecuencia x (It+Ic+Ip+Ia+Ic+Is), usando los criterios de ponderación, Tabla 1.

$$\text{Criticidad} = 5 \times (25+50+50+50+50+50) = 1375$$

Este resultado es llevado a la tabla para cuantificar el riesgo, Figura 9.

El resultado es un nivel ALTO de riesgo, lo cual amerita de ejercer una acción correctiva inmediata en el sistema.

8.2 REVISION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Como resultado de las entrevistas realizadas al personal de operación y de mantenimiento, solo se tiene una estrategia de mantenimiento correctivo para atender cualquier problema de fugas en el sistema hidráulico de bombeo, se tienen repuestos de sellos y algunos conectores tubería-cilindro (cánulas) de repuesto en caso de presentarse una parada. Sin embargo se puede evidenciar que esta estrategia no es suficiente para minimizar el impacto que se tiene al momento de ocurrir una fuga de aceite hidráulico.

Cada vez que se presenta una fuga de aceite hidráulico, el sistema no puede cumplir con su función principal que contribuye a mejorar la planitud del material.

No se tiene un plan de mantenimiento preventivo para inspeccionar los cilindros del sistema hidráulico.

8.3 REVISIÓN DE MANUALES

Para el Sistema Hidráulico de Bombeo se tiene la siguiente información.

Fluido Hidráulico: Aceite Mineral ISO 32 VG

Presión de alimentación en cada cilindro: 255 Bar

Servo válvulas caudal nominal: 38 lit. / min.

Tubería y conexiones en acero inoxidable

8.4 IDENTIFICACIÓN DE FUNCIONES

La función principal del sistema hidráulico de bombeo es mejorar la planitud de el producto laminado por una acción en la tabla o perfil de los rodillos de trabajo.

Esto se logra a través de seis cilindros hidráulicos a cada lado del bastidor del laminador, cuatro cilindros para el bombeo negativo y dos cilindros para el bombeo positivo. Dos servo-válvulas permiten el control, respectivamente los circuitos positivos y negativos de bombeo o flexión.

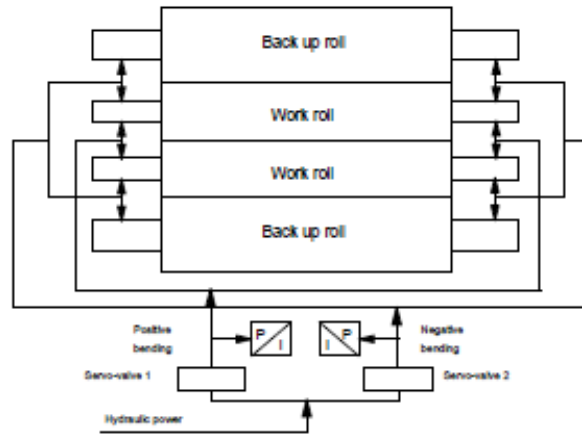
Dos transductores de presión permiten medir la presión en cada circuito de bombeo negativo y positivo.

El sistema de control electrónico del bombeo utiliza la señal de presión de los transductores para controlar la operación automática de dos servo válvulas que controlan el flujo hidráulico a la entrada de los circuitos de bombeo negativo y positivo.

Para llevar este fluido hidráulico hasta la cámara de cada cilindro, se usan unos conectores llamados cánulas que conectan físicamente la tubería con la camisa de los mismos, permitiendo de esta manera que la presión ejercida por el aceite accione los vástagos de los cilindros, ejerciendo de esta manera la acción de flexión en la tabla de los rodillos de trabajo (Work roll), llamado bombeo.

En la figura 15, podemos ver el esquema para estos dos circuitos.

Figura 15. Distribución de los cilindros de bombeo del laminador

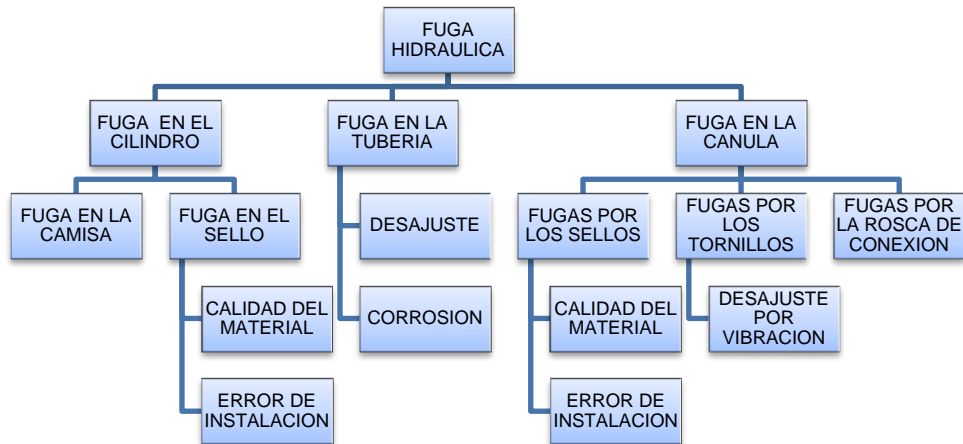


De esta manera la función principal de cada cilindro de bombeo es transmitir una fuerza de 250bares de presión en los extremos de los rodillos de laminación, la cual es contraria a la fuerza de laminación transferida a través de los rodillos de apoyo (Back up roll).

8.5 ANALISIS CAUSA RAÍZ

Revisando el reporte de paros y fallas registrado en el sistema hidráulico de bombeo, se tienen la siguiente información. Ver figura 16.

Figura 18. Árbol lógico de fallas para el sistema hidráulico.



Como se puede observar, existen varias posibilidades que ocasionen una fuga en el sistema hidráulico de bombeo, principalmente por el cilindro, la tubería y las cánulas.

Después de varios ajustes y verificaciones realizadas en el sistema, se determina:

La causa raíz física: Rotura de sello en las cánulas.

La causa raíz humana: Deficiencias en la instalación de los sellos.

La causa raíz del sistema: Diseño de las cánulas.

8.6 ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS Y CUANTIFICACION DE LA CRITICIDAD NPR.

Posterior al análisis causa raíz, se desarrolla el AMEF ver figura 19. para el componente de falla, cánula de bombeo, aquí se describen la función, los modos de falla, sus impactos y se cuantifican mediante el indicador NPR. Ver Anexo D.

Con el fin de disminuir la probabilidad de ocurrencia de estos modos de fallas, se sugieren las tareas proactivas que serán ejecutadas dentro del plan de mantenimiento.

Figura 19. AMEF sistema de cánulas de bombeo laminador.

ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLAS																	
Equipo de Trabajo																	
División	13	Departamento	31	GUSTAVO PEREZ	RAUL ARGUELLES	AMEF No	1	Página	1	de	1						
Sistema	SIS1407	Equipo Padre	CHB006	JUAN CERVERA	JULIO ALMANZA	Preparado por	HERNANDO NIETO	Fecha (mm/dd/aaaa)	10/15/2010								
				ALFREDO CASTRO	OLINTO VASQUEZ												
Equipo Hijo	Funcion(s)	Modo de Falla	Efecto de Falla	Severidad	Causas de Falla	Ocurrencia	Acción de Control	Detección	NPR	Acciones Recomendadas	Responsable	Fecha	Seguimiento / Acciones Resultantes				
													Acciones Tomadas	Severidad	Detección	NPR	
CANULA DE BOMBEO	PERMITIR EL PASO DE ACEITE HIDRAULICO DESDE LA TUBERIA HIDRAULICA HASTA EL CILINDRO DE BOMBEO A UNA PRESION DE 255 BARES	SE OBSTRUYE LA TUBERIA	NO HAY PRESION HIDRAULICA	6	CORROSION, TUBERIA EN MAL ESTADO	4	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	8	192	REALIZAR INSPECCION AL SISTEMA CADA 3M	JULIO ALMANZA	02/01/2011	REALIZAR INSPECCION CADA MES DE LA TUBERIA	6	4	6	144
		EXISTE UNA FUGA EN EL INTERIOR DEL CILINDRO DE BOMBEO	NO HAY PRESION HIDRAULICA, DERRAME DE ACEITE	7	SELLO DEL CILINDRO, CALIDAD DEL MATERIAL	6	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	8	336	CAMBIAR INTERIORES A LOS CILINDROS DE BOMBEO CADA 24 M	RAUL ARGUELLES	02/02/2011	REALIZAR INSPECCIONES PREDICTIVAS, ANALISIS DE ACEITES Y TERMOGRAFIAS	7	6	6	252
		EXISTE UNA FUGA EN EL INTERIOR DE LA CANULA DE BOMBEO	DERRAME DE ACEITE, NO HAY PRESION HIDRAULICA, NO SE PUEDE LAMINAR	8	SELLOS DE MALA CALIDAD, ROSCAS Y RACORES DE LA CANULA	8	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	8	512	INSPECCION, CAMBIO DE RACORES, TORNILLERIA Y SELLOS	GUSTAVO PEREZ	02/03/2011	SE CAMBIA DISEÑO DE LA CANULA, NO HAY TORNILLOS, NI SELLOS	8	4	6	192

8.7 DETERMINACION DE LAS ACCIONES PROACTIVAS

8.7.1 Las acciones correctivas programadas que se plantean son:

8.7.1.1 Tener cánulas armadas con cilindros en el taller mecánico.

8.7.1.2 Cambiar el diseño constructivo de las cánulas ver Anexo C y material de los sellos de las cánulas.

8.7.2 Las acciones preventivas planeadas:

8.7.2.1 Inspección de sellos, cilindros y camisas en cada mantenimiento programado.

8.7.3 Como acciones predictivas a ingresar en la matriz de predictivo.

8.7.3.1 Monitoreo de temperatura en cilindros y tuberías.

8.8 PLAN DE MANTENIMIENTO FINAL

Se resume a continuación el plan de mantenimiento final para el sistema de bombeo del laminador.

Figura 20. Plan de mantenimiento para el sistema hidráulico de bombeo.

cod_activid	cod_frecuencia	observacion1	observacion2
CHB0005	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (+) L.O.S	CAMBIAR INTERIORES A CILINDROS HIDRAULICOS.
CHB0006	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (+) L.O.E	CAMBIAR INTERIORES A CILINDROS HIDRAULICOS.
CHB0007	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (-) INF L.O.E	CAMBIAR INTERIORES AL CILINDR HIDRAULICO.
CHB0008	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (-) SUP L.O.E	CAMBIAR INTERIORES AL CILINDRO HIDRAULICO.
CHB0009	24M	CAMBIAR CILINDRO HID EQUILIBRADO L.O.E	REEMPLAZAR POR EL CILINDRO HID EN STOCK
CHB0010	24M	CAMBIAR CILINDRO EQUILIBRADO L.M.E	REEMPLAZAR POR EL CILINDRO HID EN STOCK
CHB0014	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (-) INF L.O.S	CAMBIAR INTERIORES A CILINDROS HIDRAULICOS.
CHB0015	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (-) SUP L.O.S	CAMBIAR INTERIORES A CILINDROS HIDRAULICOS.
CHB0016	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (+) L.M.E	CAMBIAR INTERIORES A CILINDROS HIDRAULICOS.
CHB0017	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (-) INF L.M.E	CAMBIAR INTERIORES A CILINDROS HIDRAULICOS.
CHB0018	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (-) SUP L.M.E	CAMBIAR INTERIORES A CILINDROS HIDRAULICOS.
CHB0019	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (+) L.M.S	CAMBIAR INTERIORES A CILINDROS HIDRAULICOS.
CHB0020	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (-) INF L.M.S	CAMBIAR INTERIORES A CILINDROS HIDRAULICOS.
CHB0021	24M	MTTO CIL HID DE BOMBEO (-) SUP L.M.S	CAMBIAR INTERIORES A CILINDROS HIDRAULICOS.
CHB0025	24M	CAMBIAR CILINDRO HID EQUILIBRADO L.O.S	REEMPLAZAR POR EL CILINDRO HID EN STOCK
CHB0026	24M	CAMBIAR CILINDRO HID EQUILIBRADO L.M.S	REEMPLAZAR POR EL CILINDRO HID EN STOCK
CHB0028	3M	MTTO A CANULAS CENTRALES BOMBEO POSITIVO	INSPECCION Y CAMBIO DE RACORES, TORNILLERIA Y SELLOS
CHB0029	9M	MTTO CANULAS BOMBEO (-) L.O.E SUP E INF LAMINADOR	INSPECCION Y CAMBIO DE RACORES, TORNILLERIA,
CHB0030	9M	MTTO CANULAS BOMBEO (-) L.M.E SUP E INF LAMINADOR	INSPECCION Y CAMBIO DE RACORES, TORNILLERIA,
CHB0031	9M	MTTO CANULAS BOMBEO (-) L.O.S SUP E INF LAMINADOR	INSPECCION Y CAMBIO DE RACORES, TORNILLERIA,
CHB0032	9M	MTTO CANULAS BOMBEO (-) L.M.S SUP E INF LAMINADOR	INSPECCION Y CAMBIO DE RACORES, TORNILLERIA,
CHB0033	6M	CAMBIO CANULAS DE EQUILIBRADO L.OPE LAM	
CHB0034	6M	CAMBIO CANULAS DE EQUILIBRADO L.MOT LAM	

9. CONCLUSIONES

El modelo de optimización planteado es una herramienta de mejoramiento continuo que permite alcanzar con el tiempo un mantenimiento de precisión, anticipándose a las desviaciones de los estándares de funcionamiento de los equipos dentro de un proceso productivo, es decir, que perfecciona con el tiempo la estrategia de mantenimiento proactivo (preventivo y predictivo).

La conformación del equipo de trabajo para el desarrollo de las actividades dentro de la metodología de optimización fomenta el trabajo en equipo y ofrece una mayor confiabilidad en el hallazgo, interpretación y difusión de resultados.

El análisis de criticidad, el RCFA y el AMEF son herramientas claves al momento de elaborar y optimizar un plan de mantenimiento.

A través del análisis de criticidad se puede establecer la importancia de los equipos de una planta ó un proceso, esto simplifica de manera significativa la carga de trabajo y el recurso humano en las intervenciones.

Cuando se identifican los equipos críticos de un proceso se apunta directamente al objetivo principal de la organización de manera más rápida efectiva.

Al definir las funciones y los estándares de funcionamiento de un equipo, se identifican de manera más rápida los modos de falla del activo, lo que garantiza que la selección de tareas sean las más adecuadas para evitar el origen de estas fallas.

Un análisis de causa raíz no solamente sirve para analizar fallas funcionales que han ocurrido sino también para anticiparse a la aparición de probables fallas potenciales.

El alcance de todas las actividades sugeridas dentro del plan de mantenimiento debe estar encaminado hacia el control de los indicadores de severidad , ocurrencia y detección.

Con las modificaciones sugeridas para reducir la cantidad de fugas en el sistema hidráulico, se redujo la cantidad total de fallas en el sistema hidráulico en el 2009 desde 33 fallas / mes a 27 fallas / mes en el 2010, lo que equivale a un 15% de mejora de la confiabilidad del proceso.

El cambio de modelo mental de mantenimiento reactivo a mantenimiento basado en las mejores prácticas, es una labor que puede tomar cinco años para implementarla en una empresa, se hace necesario romper paradigmas, reentrenar al personal, desarrollar las actividades de manera disciplinada y esperar resultados a los cambios sugeridos.

Esta metodología de optimización basada en RCM, para efectos de ejemplo fue implementada en el proceso de laminación, sin embargo puede ser implementada en cualquier otro proceso productivo, e incluso que no sea de mantenimiento, tal como lo es el departamento de producción.

BIBLIOGRAFIA

ARATA. Adolfo. Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales. Santiago. RIL Editores. 2009. 439 p

BLOOM. Neil B. Reliability Centered Maintenance. Implementation made simple. USA. McGraw-Hill. 2006. 291 p

CREUS SOLE. Antonio. Fiabilidad y Seguridad. Su aplicación en procesos Industriales. España. Marcombo S.A. 2005. 469 p

DUFFUA. Salih O. RAOUF, A. DIXON, John. Sistemas de Mantenimiento. Planeación y Control. México. Limusa. 2002. 419 p

MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance RCM. Lutterworth. Aladon Ltda. 2nd Ed. 1991. 440 p

GARCIA GARRIDO. Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid. Díaz de Santos. 304 p

GULATI. Ramesh. Maintenance and Reliability. Best Practices. New York. Industrial Press INC. 2009. 415 p

HINES. William. MONTGOMERY, Douglas. GOLDSMAN, David. BORROR, Connie. Probabilidad y Estadística para Ingeniería. México. CECOSA. 2005. 780 p

KUMAR. Dhirendra. Six Sigmas. Las mejores prácticas. Bogota. Panamericana Editorial. 2008. 472 p

MOBLEY,R. KEITH. Maintenance Engineering Handbook. McGraw-Hill Professional. Seventh Edition. 2008. 1200 p

MORA GUTIERREZ. Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Medellín. Editorial COLDI Ltda. 2009. 340 p

ANEXOS

ANEXO C. DISEÑO MODIFICADO CANULA DE BOMBEO

