

MODELO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UN TREN
DE LAMINACIÓN DE UNA PLANTA SIDERURGICA.

JUAN CARLOS ESLAVA DIAZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2016

MODELO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UN TREN
DE LAMINACIÓN DE UNA PLANTA SIDERURGICA.

JUAN CARLOS ESLAVA DIAZ

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de mantenimiento

Director: Victor Bonza
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2016

Contenido

INTRODUCCION	12
1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	14
1.1 NECESIDAD DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.....	14
1.2 SITUACION ACTUAL DE LA COMPAÑÍA.....	14
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	16
1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
2. MARCO DE REFERENCIA.....	17
2.1 MARCO TEORICO.....	17
2.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	18
2.3 INDICADORES DE MANTENIMIENTO.....	24
2.3.1 Efectividad del mantenimiento	24
2.3.2 Eficiencia del mantenimiento.....	25
2.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	26
2.4.1 Mantenimiento Correctivo.....	27
2.4.2 Mantenimiento Preventivo.....	28
2.4.3 Mantenimiento Predictivo.....	29
2.5 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO ENFOCADAS A EQUIPO ELECTRICO..	31
2.5.1. Transformadores.....	31
2.5.2. Interruptores de media tensión.....	33
2.5.3. Puestas a tierra.....	34
2.5.4. Tableros de control.....	34
2.5.5. Otras pruebas que se puede aplicar a equipos eléctricos.....	35
2.5.6. Termografía.....	37
2.5.7. Análisis de vibraciones.....	37
2.6 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....	39
2.6.1. Reseña Histórica.....	39

2.6.2. Metodología RCM	42
2.7 SRCM	50
3. RECOPIACION Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACION.	52
3.1 AREAS DEL TREN DE LAMINACION.	52
3.2 TAXONOMIA HORNO DE CALENTAMIENTO.....	57
3.3 HISTORICO DE FALLAS.....	61
3.4 DEFINICIÓN DE FRONTERAS, SISTEMAS, SUBSISTEMAS.	64
3.5. FUNCIÓN, FALLA FUNCIONAL Y ACTIVOS ASOCIADOS.....	65
3.6. EVALUACIÓN DE CRITICIDAD	66
3.7. MECANISMO DE FALLA (CAUSA)	67
4.0. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.....	69
4.2 FRECUENCIAS DE EJECUCIÓN.....	69
4.3 NÚMERO DE PERSONAS Y DURACIÓN.	69
4.4 TIPOS DE TAREA.....	70
4.5 FORMATO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	70
5.0. CONCLUSIONES.....	74
BIBLIOGRAFIA.....	75
ANEXOS.....	77

Lista de Figuras

Figura 1. Posición del Mantenimiento hasta la década de 1930	19
Figura 2. Posición del Mantenimiento en las Décadas de 1930 y 1940.	20
Figura 3. Tiempos de reparación y Diagnostico.	20
Figura 4. División Organizacional del mantenimiento.	21
Figura 5. Subdivisión de la Ingeniería de Mantenimiento en área de Estudios y PCM.	22
Figura 6. Evolución de las expectativas del mantenimiento.	24
Figura 7. Costos del Mantenimiento con Relación al Tiempo.	27
Figura 8. Grupo Típico de Revisión de RCM.	42
Figura 9. Esquema de un Análisis RCM.	43
Figura 10. Relación entre Capacidad y Desempeño Deseado.	44
Figura 11. Tiempo de Inactividad.	47
Figura 12. Curva P-F.	48
Figura 13. Modelo General De La metodología SRCM de SKF.	51
Figura 14. Esquema General Horno.	52
Figura 15. Diagrama Tren Pre Desbastador.	53
Figura 16. Diagrama Tren Desbastador.	54
Figura 17. Diagrama Tren Intermedio	55
Figura 18. Diagrama Trenes Terminadores.	56
Figura 19. Taxonomía Actual del Horno	57
Figura 20. Ubicaciones Técnicas Propuestas para Horno de Calentamiento.	57
Figura 21. Delimitación Ubicaciones Técnicas.	58

Figura 22. Maquinas asignadas a cada Ubicación Técnica.	59
Figura 23. Equipos de cada máquina.	60
Figura 24. Modelo del archivo en el cual se registran los fallos.	61
Figura 25. Asignación de fallos no programados por especialidad.	61
Figura 26. Fallas Eléctricas por Área.	62
Figura 27. Detalle de Paradas Eléctricas del Horno.	64
Figura 28. Formato para definir sistemas y subsistemas.	64
Figura 29. Modos y Efectos de Falla.	66
Figura 30. Evaluación de Criticidad.	67
Figura 31. Mecanismo de Falla.	68
Figura 32. Formato del Plan de Mantenimiento.	70
Figura 33. Detalle del costo de la inspección anual propuesta.	72
Figura 34. Detalle del costo de tareas preventivas anuales propuestas	73
Figura 35. Detalle del costo mano de obra tareas predictivas.	74

LISTA DE ANEXO

Anexo A. Formato SRCM Sistema de cargue de Palanquilla.	77
Anexo B. Formato SRCM Sistema Movimientos Horno.	78
Anexo C. Formato SRCM Sistema Combustión Horno.	79
Anexo D. Formato SRCM Sistema Subestación.	80
Anexo E. Matriz de Criticidad	80
Anexo F. Evaluación de Criticidad.	81
Anexo G. Mecanismos de Falla	90
Anexo H. Plan de Mantenimiento.	93

RESUMEN

TITULO: MODELO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UN TREN DE LAMINACIÓN DE UNA PLANTA SIDERURGICA.

AUTOR: JUAN CARLOS ESLAVA DIAZ

PALABRAS CLAVES: LAMINACIÓN, HORNO, AUTOMATIZACIÓN, CONTROL, SRCM, RCM, FUNCIÓN, FALLA FUNCIONAL, MODO DE FALLA, EFECTO DE FALLA.

Todo proceso de manufactura exige una alta confiabilidad de equipos, la exigencia de esta situación aumenta cuando la operación debe mantenerse las 24 horas del día los 7 días de la semana, es justamente por esta situación que toma gran importancia contar con una estrategia de mantenimiento clara y costo efectiva, en este trabajo se presenta un plan piloto en el cual se elabora una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para equipo eléctrico y de automatización para el horno de calentamiento de palanquillas del tren de laminación. Dicho plan de mantenimiento se crea basado en la metodología SRCM de SKF, teniendo en cuenta que cumple con los requisitos de la norma SAE JA 1011, y es un método simplificado que busca tener un impacto positivo en un mediano plazo, sin asignar mayores recursos a la elaboración del plan, se puede definir el SRCM como un RCM simplificado. La laminación en caliente comienza llevando el material que debe ser laminado a una temperatura que facilita su elongación. Y generalmente las fallas presentadas en el horno son de difícil reparación y pueden llegar a tener consecuencias graves que afecta la operación de todo el tren de laminación.

ABSTRACT

TITLE: MODEL OF A PLAN OF PREVENTIVE MAINTENANCE FOR A ROLLING MILL OF A STEEL PLANT.

AUTHOR: JUAN CARLOS ESLAVA DIAZ

KERWORDS: LAMINACION, OVEN, AUTOMATION, CONTROL, RCM, SRCM, FUNCTION, FAILURE FUNCTIONAL, FAILURE MODE, EFFECT OF FAILURE.

All manufacturing process requires high reliability of equipment, the demand for this situation increases when the operation must be supported 24 hours a day, 7 days a week, is exactly for this situation that it takes great importance to count with a strategy for maintenance and cost effective, in this paper there appears a pilot plan in which a proposal for a plan of preventive maintenance for electrical equipment and automation for the heating furnace billet rolling mill is made is presented. The above mentioned maintenance plan is created based on the methodology SRCM of SKF, considering that meets the requirements of SAE JA 1011 standard, and is a simplified method that thinks about how to have a positive impact in the medium term, without allocating more resources to drawing up the plan, it is possible to define the SRCM as a simplified RCM. The lamination in warm starts by taking the material that must be laminated to a temperature that facilitates its elongation. In addition, generally they presented in the oven faults are difficult to repair and can have serious consequences affecting the operation of the entire rolling mill.

INTRODUCCION

El entorno global en el cual se deben desenvolver las industrias, ambientes altamente competitivos, tratados de libre comercio, mejores precios y mejor servicio, innovación de productos, el aumento en las expectativas de los clientes, presiones de costos, los avances tecnológicos, la responsabilidad ambiental entre otros, obligan a las empresas a ser cada vez más competitivas y buscar estrategias para mantenerse vigentes. Al ser el mantenimiento parte fundamental y estrategia de las industrias gran parte de la responsabilidad esta en garantizar el correcto desempeño y función de los equipos del proceso en condiciones seguras, confiables y eficientes.

Dentro de los procesos de una siderúrgica integrada, el área de laminación tiene la responsabilidad de transformar el acero procesado en el producto final, cualquier desviación del proceso o falla de los equipos produce desperdicios de tiempo o de material que son altamente costosos para la compañía, el equipo eléctrico y de automatización tiene un gran impacto dentro de estos desperdicios, sin restar importancia a los demás sistemas del proceso es el horno de calentamiento de palanquillas donde las fallas tienen algunos de los impactos más fuertes en cuanto a los tiempos y desperdicios generados.

Como piloto inicial se pretende con este trabajo determinar las acciones de mantenimiento que se requieren para evitar paradas de producción o fallas en el equipo eléctrico y de automatización del horno de calentamiento de palanquilla para después extenderlo a los demás sistemas del laminador. Es este horno el inicio del proceso de laminación, es en este horno donde se calienta el acero para poder ser laminado, por consiguiente de presentarse algún fallo en el, todo el proceso productivo se detiene, algunos de estos fallos pueden tener repercusiones muy costosas para la compañía, varios días de parada y material perdido después de complejos procesos.

Gracias a las últimas tecnologías y los desarrollos en la gestión del mantenimiento se puede pensar en utilizar diferentes filosofías o metodologías para buscar día a día mejores resultados, el desarrollo de este trabajo se basó en la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, y el Mantenimiento Perfeccionado Centrado en la Confiabilidad, metodología difundida por SKF.

El documento se estructura en cinco partes aplicando el método científico, en la primera parte se establece el problema, se contextualiza sobre la situación planteada, en la segunda parte se define el marco de referencia, en la tercera parte se recopila y se trata la información recolectada de la compañía, en la cuarta parte se estructura el plan de mantenimiento propuesto, separado en tareas de tipo preventivo, predictivo y correctivo, y en la quinta y última parte se encuentran las conclusiones del trabajo realizado.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 NECESIDAD DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

La mayoría de las empresas ya son conscientes de la importancia de gestionar e implementar mejores prácticas y políticas en cada una de sus áreas, siendo el mantenimiento parte fundamental de cualquier empresa no puede estar fuera de estas políticas.

Dependiendo de su actividad, el riesgo, el costo, y cualquier otra variable que se considere relevante, cualquier empresa podrá definir su estrategia de mantenimiento. La estrategia de mantenimiento asegura que las tareas de planeación, inspección, ejecución, consecución de repuestos se ejecuten de manera sistemática con el fin de evaluar, medir y mejorar con el paso del tiempo.

El entorno global en el cual se tienen que desenvolver las compañías, la alta competitividad, y todos los factores que esto incluye, exige a las áreas de mantenimiento mayor disponibilidad, mayor rentabilidad, protección al medio ambiente, seguridad y salud de las personas, actividades costo efectivas entre otros, exigencias imposibles de cumplir si no se cuenta con una estrategia establecida, implementada, y desarrollada con disciplina.

1.2 SITUACION ACTUAL DE LA COMPAÑÍA.

Esta siderúrgica integrada construida hace poco más de sesenta años, nació con una estrategia de mantenimiento netamente correctiva, no se tienen registros de los costos específicos de las áreas de mantenimiento, pero sí de algunos repuestos que aún se encuentran en los almacenes y que nunca se utilizaron de máquinas que ya no existen, esto es una de las consecuencias de la mencionada estrategia, la planta industrial se dividía en varias celdas de operación y cada una

de estas celdas contaba con su propio personal de mantenimiento. Alrededor de los años ochenta se implementaron estrategias de mantenimiento de tipo preventivo, el personal de mantenimiento seguía siendo parte de la operación de la planta, no tenía independencia, en los años noventa empezaron la gran modernización, se instala el tren de laminación de rollos, con estas estrategias de mantenimiento sin control inicial, y un sistema de información poco amigable (MAC), seguido a esto llega la reconversión industrial donde se pasa de la colada convencional o la colada continua y en el área de laminación se debe construir un horno de calentamiento de palanquilla, esto ocurre apenas cuando el sistema de información acababa de migrar de MAC a Baan, durante este proceso de migración se perdió información valiosa acerca de repuestos y algunas rutas de mantenimiento de los equipos, adicionalmente a todo el equipo nuevo instalado no se le realizó control inicial lo que obligaba a retroceder en el tiempo y realizar el mantenimiento de tipo correctivo.

Apenas hace unos años la compañía adquirió su sistema ERP (SAP), nuevamente durante el proceso de migración se pierde información, teniendo claro la necesidad de implementar una estrategia de mantenimiento se inician a crear rutinas de inspección y mantenimiento, y es aquí donde este trabajo propuesto toma importancia.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Construir el plan de mantenimiento preventivo para el equipo eléctrico y de automatización crítico del tren de laminación de rollos de una empresa siderúrgica, creando rutas prácticas y costo efectivas mediante la metodología SRM. Como piloto de este trabajo se realizara el plan de Mantenimiento para el área del horno de calentamiento del laminador.

1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Validar la taxonomía de equipos actualmente utilizada en el horno de calentamiento de palanquilla.

Definir sistemas, subsistemas, funciones y fallas funcionales para el área del horno de calentamiento de palanquilla.

Definir tareas, responsables y frecuencias de ejecución de mantenimiento para el equipo eléctrico y automatización del horno de calentamiento de palanquilla.

Entregar un plan de mantenimiento piloto para área del horno de calentamiento de palanquilla.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEORICO.

De la mano de la evolución de la industria ha tenido que evolucionar el mantenimiento, el objetivo del mantenimiento básicamente es la preservación en las mejores condiciones de todos los activos de la compañía, mantener una alta confiabilidad al menor costo posible.

En 1975 la organización de las naciones unidas definía a la actividad final de cualquier entidad organizada como Producción = Operación + Mantenimiento, donde al segundo factor de este binomio pueden ser atribuidas las siguientes funciones:

Reducción del tiempo de paralización de los equipos que afectan la operación.

Reparación, en tiempo oportuno, de los daños que reducen el potencial de ejecución de los servicios.

Garantía de funcionamiento de las instalaciones, de manera que los productos y servicios satisfagan criterios establecidos por el control de la calidad y estándares preestablecidos.¹

Prácticamente la definición anterior se puede relacionar con algunas de las funciones atribuidas actualmente al departamento de mantenimiento:

En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

¹ TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 1

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido.

La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación.²

Esta comparación ayuda a comprender que las responsabilidades actuales de los departamentos de mantenimiento no es algo nuevo, muchos autores empezaron a hablar del tema desde hace más de tres décadas, y siendo en el área de mantenimiento donde la mayoría de las empresas de manufactura invierten una buena parte de sus recursos, no es de extrañar que se encuentren empresas que hoy día no son competitivas dentro del entorno global debido a sus malas prácticas asociadas a las actividades de mantenimiento.

2.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.

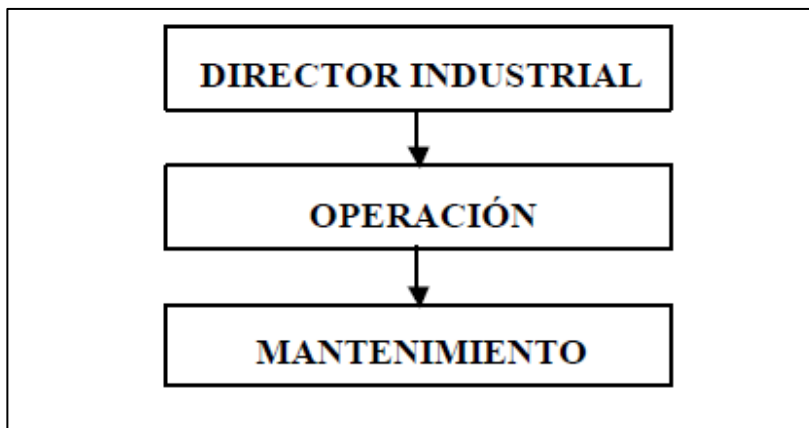
La historia del mantenimiento acompaña el desarrollo técnico industrial de la humanidad. A fines del siglo XIX, con la mecanización de las industrias, surgió la necesidad de las primeras reparaciones. Hasta 1914, el mantenimiento tenía importancia secundaria y era ejecutado por el mismo grupo de operación, con la llegada de la primera guerra mundial, y con la implantación de la producción en serie las fabricas pasaron a establecer programas mínimos de producción y como consecuencia de esto sintieron la necesidad de formar equipos que pudiesen efectuar reparaciones en máquinas en servicio en el menor tiempo posible, así surgió un órgano subordinado a la operación, cuyo objetivo básico era la ejecución del mantenimiento³. Durante estas dos décadas el cambio fundamental fue la

² MESA, Dario H. ORTIZ, Yesid. Y PINZON, Manuel. La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. EN: Scientia Et Technica. Mayo, 2006. Vol. 12, no. 30, p. 155-160.

³ TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 1

creación de estos grupos, pero las actividades de mantenimiento realizadas eran exclusivas para reparar lo averiado, lo que más adelante se definirá como mantenimiento Correctivo.

Figura 1. Posición del Mantenimiento hasta la década de 1930

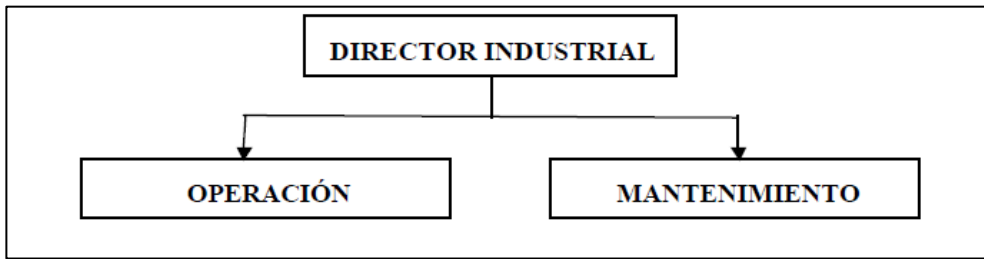


Fuente: Administración Moderna del Mantenimiento.

En función de la Segunda Guerra Mundial y la necesidad de aumentar la rapidez de producción, la alta administración pasó a preocuparse, no solamente de corregir fallas sino también de evitar que las mismas ocurriesen, razón por la cual el personal Técnico de mantenimiento pasó a desarrollar el proceso de Prevención de averías que, juntamente con la Corrección, completaban el cuadro general de Mantenimiento, formando una estructura tan importante como la de Operación⁴.

⁴ TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 2

Figura 2. Posición del Mantenimiento en las Décadas de 1930 y 1940.



Fuente: Administración Moderna del Mantenimiento.

Alrededor del año 1950, con el desarrollo de la industria para satisfacer los esfuerzos de la posguerra, la evolución de la aviación comercial y de la industria electrónica, los Gerentes de Mantenimiento observaron que, en muchos casos, el tiempo empleado para diagnosticar las fallas era mayor que el tiempo empleado en la ejecución de la reparación.

Figura 3. Tiempos de reparación y Diagnóstico.

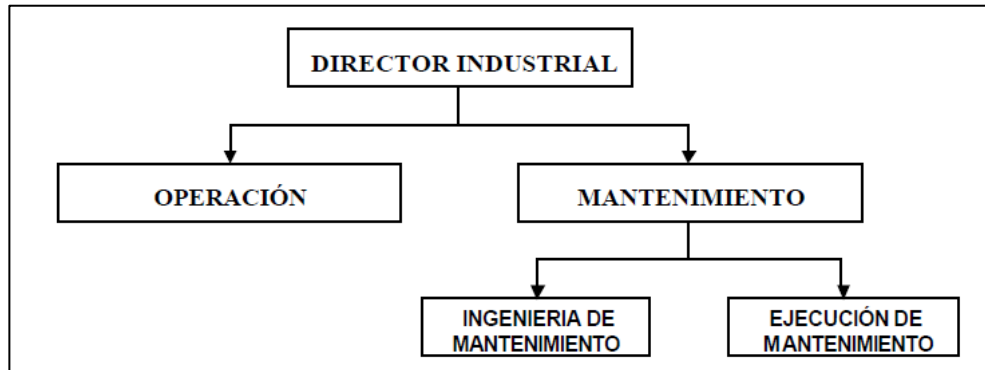
Tiempos de Diagnóstico y Reparación de Equipos de acuerdo con su naturaleza constructiva		
NATURALEZA	DIAGNÓSTICO	REPARACIÓN
Mecánico	10%	90%
Hidráulico	20%	80%
Eléctrico	60%	40%
Electrónico	90%	10%

Fuente: Administración Moderna del Mantenimiento.

Basados en la información de la figura 3, se creó un grupo especializado como un órgano asesor al que llamaron Ingeniería de Mantenimiento y recibió las funciones

de planificar y controlar el mantenimiento preventivo analizando causas y efectos de las averías⁵.

Figura 4. División Organizacional del mantenimiento.



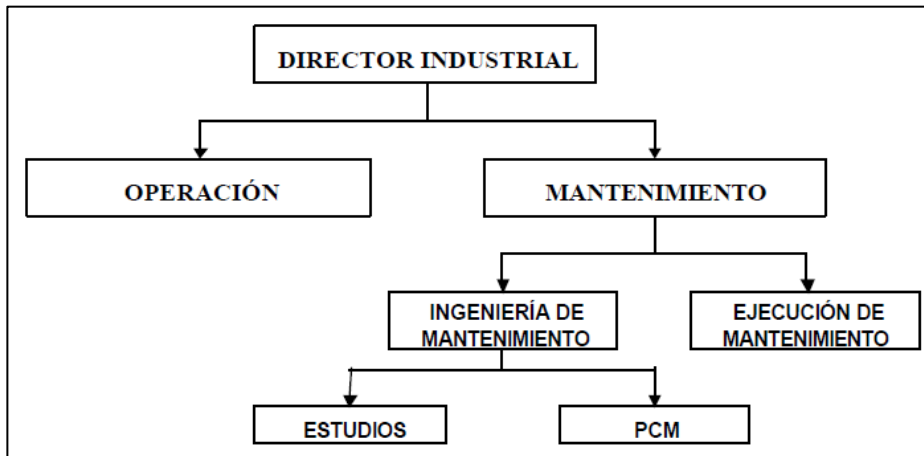
Fuente: Administración Moderna del Mantenimiento.

A partir de 1966, con la difusión de las computadoras, el fortalecimiento de las Asociaciones Nacionales de Mantenimiento, creadas al final del periodo anterior y la sofisticación de los instrumentos de protección y medición, la Ingeniería de Mantenimiento pasó a desarrollar criterios de predicción o previsión de fallas, con el objetivo de optimizar el desempeño de los grupos de ejecución del mantenimiento. Esos criterios, conocidos como Mantenimiento Predictivo o Previsivo, fueron asociados a métodos de planificación y control de mantenimiento automatizados, reduciendo las tareas burocráticas de los ejecutantes del mantenimiento. Estas actividades ocasionaron el desmembramiento de la Ingeniería de Mantenimiento, que pasó a tener dos equipos: el de estudios de fallas crónicas y el de PCM - Planificación y Control del Mantenimiento, este último con la finalidad de desarrollar, implementar y analizar los resultados de los Sistemas Automatizados de Mantenimiento⁶.

⁵ TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 2

⁶ TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 3

Figura 5. Subdivisión de la Ingeniería de Mantenimiento en área de Estudios y PCM.



Fuente: Administración Moderna del Mantenimiento.

En la década de 1980, aprovechando el desarrollo de las computadoras personales que bajaban su costo y hacían su lenguaje cada vez más simple, los equipos de mantenimiento iniciaron a desarrollar y procesar sus propios programas, para poder tratar y analizar la información obtenida sin depender de las áreas especializadas en los sistemas de informática quienes comúnmente no captaban las necesidades del equipo de mantenimiento.

Las etapas evolutivas del mantenimiento se caracterizaron especialmente por tres características muy marcadas, la primera fue la reducción de los costos, la segunda fue la garantía de la calidad (confiabilidad), y la tercera el cumplimiento de los tiempos de ejecución (disponibilidad).

Con esta evolución los profesionales de mantenimiento tenían cada vez más importancia dentro de las instituciones, así mismo la exigencia era mayor para lograr la atención adecuada de sus clientes ya fueran equipos, instalaciones u obras, quedando claro que las tareas que desempeñan, se manifiestan como

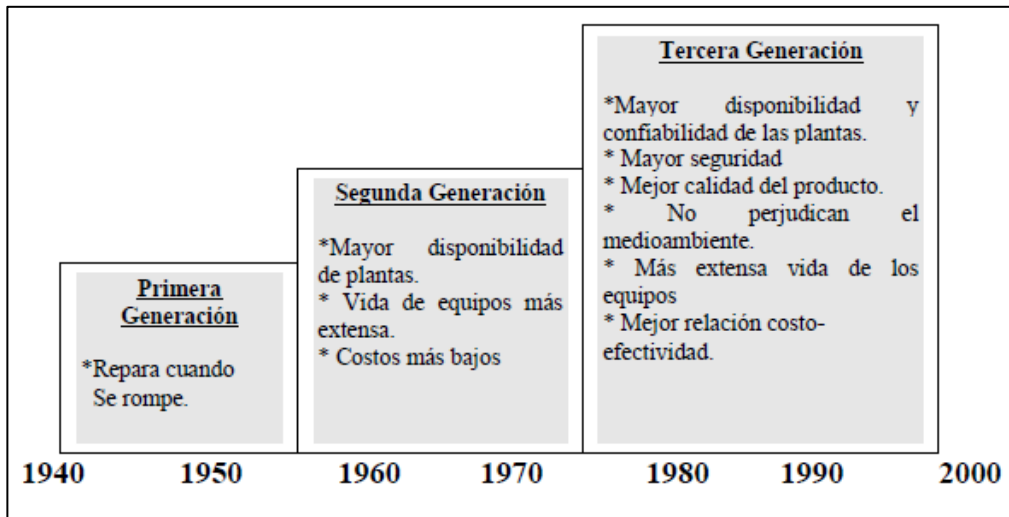
impacto directo o indirecto en el producto o servicio que la empresa ofrece a sus clientes⁷.

Según Moubray, la historia del mantenimiento se podría resumir en tres generaciones, la primera donde la industria todavía no era altamente mecanizada y los tiempos de inactividad no tenían relevancia, sin ninguna preocupación por prevenir las fallas en los equipos. En la segunda generación el aumento en la demanda de todo tipo de provisiones y la baja oferta de mano de obra obligo a una mecanización donde que hizo depender a la industria de ellas. Con esto llego la idea que las fallas técnicas podían ser prevenidas. En la tercera generación se evidencio que el crecimiento de la mecanización y automatización como agregado que la garantía de funcionamiento y disponibilidad se convertían en factores claves en sectores tan diversos como cuidado de la salud, procesamiento de datos, telecomunicaciones y administración de edificios⁸. La figura 6, muestra la expectativa de la función del mantenimiento en los últimos 60 años del siglo pasado. Hoy día se encuentra aún empresas luchando por cumplir estas expectativas, sin entender la importancia del mantenimiento dentro de sus organizaciones.

⁷ TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 4

⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 8

Figura 6. Evolución de las expectativas del mantenimiento.



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

2.3 INDICADORES DE MANTENIMIENTO.

Se puede considerar el desempeño del mantenimiento desde dos puntos de vista diferentes, el primero de ellos es la efectividad, el cual se enfoca en la garantía que mantenimiento da al usuario de que los bienes continúen cumpliendo su función dentro de los parámetros establecidos, el segundo es la eficiencia, se centra en la manera como se utilizan los recursos del mantenimiento⁹.

2.3.1 Efectividad del mantenimiento

Existen diferentes maneras de medir la efectividad con la cual los equipos o bienes del mantenimiento cumplen su función, a continuación se mencionan 5.

Confiabilidad: La forma más simple de entenderlo es “Que tan seguido falla el equipo o bien” se mide fácilmente por el tiempo transcurrido entre una y otra falla o por el número de fallas ocurridas en un periodo de tiempo.

⁹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P.262

Durabilidad: Dicho de otra manera es la vida útil del equipo o bien, “Cuanto dura”, indica cuando debe ser reconstruido o reemplazado por uno nuevo.

Indisponibilidad: O inactividad, básicamente mide el tiempo que permanece fuera de servicio cuando falla, el tiempo que el equipo o bien es incapaz de cumplir la función dentro de los parámetros establecidos.

Mantenibilidad: Está relacionada con la capacidad o probabilidad que existe de recuperar un equipo o bien a una condición determinada en un periodo de tiempo dado.

Eficiencia: Como variable para medir la efectividad se puede entender por “desempeño deseado vs capacidad inicial”.

Existen algunas otras formas de medir la efectividad, cual o cuales utilizar dependerá de cada contexto. También es importante tener presente que no es aceptable responsabilizar al encargado del mantenimiento por el logro de los objetivos, (confiabilidad, disponibilidad, durabilidad). El logro de estos objetivos es también responsabilidad de cómo está diseñado, construido y operado el bien o equipo¹⁰.

2.3.2 Eficiencia del mantenimiento

La eficiencia del mantenimiento está relacionada con el buen uso de los recursos con los que cuenta el mantenimiento para lograr la efectividad de los bienes o equipos a cargo. Para un fácil entendimiento del tema se agrupan en cuatro categorías.

Costos de mantenimiento: forman parte de esta categoría los costos directos de mano de obra, materiales y contratistas, puede variar dependiendo de cada

¹⁰ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P.265

organización, en algunas industrias el costo directo del mantenimiento es el tercer elemento de los costos operativos, en algunos casos ha escalado hasta el segundo o el primer puesto. Es por este motivo que se volvió prioridad controlar estos costos

Mano de obra: Esta categoría se refiere al tema de contratos de trabajadores de mantenimiento, un error típico es despreciar la mano de obra de trabajadores de operación cuando realizan labores de mantenimiento.

Repuestos y materiales: se refiere a todos los adicionales de la mano de obra, consumibles, repuestos, stock muerto.

Planificación y control: teniendo en cuenta que la eficiencia del mantenimiento se ve afectada porque tan bien se planifican y se controlan las actividades, en esta categoría se incluyen, el total de horas de tareas preventivas y predictivas, horas planeadas trabajadas vs horas no planeadas, horas estimadas de trabajo vs horas reales empleadas para los trabajos programados. Las desviaciones en estas planificaciones infieren costos adicionales y afectan la eficiencia del mantenimiento.

2.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO.

El mantenimiento está definido por la EFNMS (Federación Europea de Asociaciones Nacionales de Mantenimiento) como: *“El conjunto de actividades técnicas y administrativas cuya finalidad es conservar o restituir un sistema, subsistema, instalación, planta, máquina, equipo, estructura, edificio, conjunto, componente o pieza a la condición que la permita desarrollar su función.”*¹¹

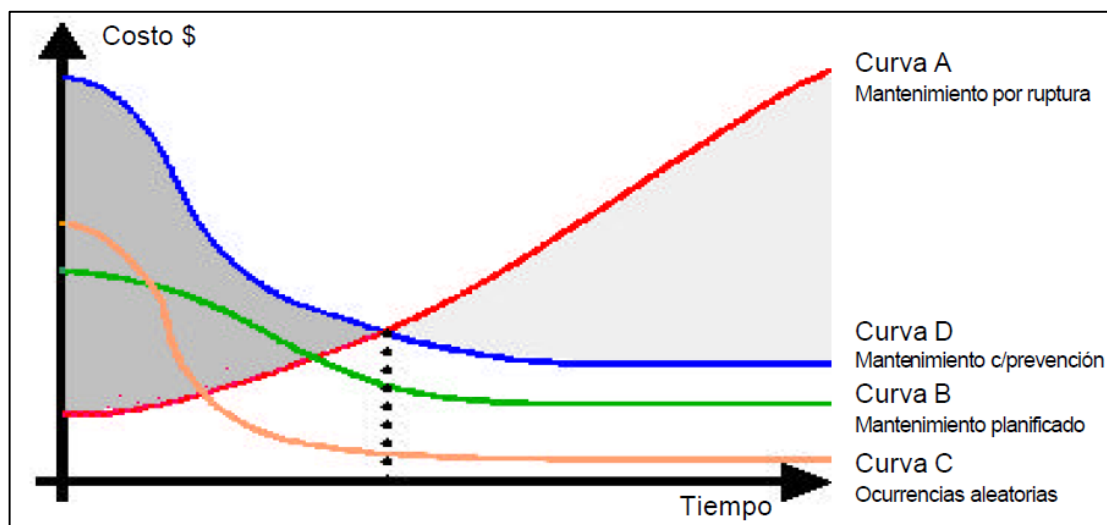
Varios autores describen diferentes tipos de mantenimiento, para este caso se van a definir básicamente tres tipos de mantenimiento, mantenimiento

¹¹ FRANCISCO SOLER PRECIADO. Mantenimiento: correctivo, preventivo y correctivo [en línea]. <<http://www.atmosferis.com/mantenimiento-correctivo-preventivo-y-predictivo/>> [citado en 3 de febrero de 2016]

correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo. Cada tipo de mantenimiento será ideal en un tipo de situación y equipo en función de distintos factores como el económico, el personal disponible, el tiempo de trabajo, la cantidad de repuestos, etc. Un buen programa de mantenimiento debe ser capaz de conjugar los tres tipos de mantenimiento para lograr de manera eficiente prolongar la vida útil de sus bienes o equipos.

La teoría presentada por Lourival Tavares, en el libro ADMINISTRACION MODERNA DEL MANTENIMIENTO, muestra la Figura 7 donde plantea los costos del mantenimiento con relación al tiempo.

Figura 7. Costos del Mantenimiento con Relación al Tiempo



Fuente: Administración Moderna del Mantenimiento

2.4.1 Mantenimiento Correctivo.

El mantenimiento correctivo se relega al momento de la ocurrencia de una falla o pérdida de función de un bien, esto no siempre es indeseado, pero debe ser muy bien seleccionado cuando se pretende utilizar pues representa un bajo costo en la inversión inicial, prácticamente nula, pero si no se aplica a los bienes adecuados representa graves consecuencias con el paso del tiempo, las actividades de mantenimiento correctivo se pueden y se usan sobre ciertos bienes que no

representan una amenaza para la operación de la planta, que sean de bajo costo y baja criticidad, resultaba ideal cuando la reparación o sustitución no representa afectación para la producción u operatividad de la planta.

Los principales inconvenientes están en la falta de previsibilidad de la ocurrencia de la falla, debido a que las tareas no están programadas, se supone mayor utilización de los recursos en tiempo y mano de obra, otro inconveniente relacionado con el mantenimiento correctivo es que nunca se ataca la causa, por lo que se espera que la falla vuelva a ocurrir.

2.4.2 Mantenimiento Preventivo.

Tiene como fin prevenir la ocurrencia de averías o fallas, se basa en la sustitución de componentes cuando se supone que se ha terminado la vida útil de estos, el estudio teórico de la vida útil de cada elemento de un equipo, normalmente es suministrado por el fabricante, quien suele incluir con la documentación del equipo las recomendación de mantenimiento preventivo, se debe tener especial cuidado al sustituir elementos de un costo elevado, pues es normal que los elementos tengan una vida útil superior a la indicada por los fabricantes, pero cuando se sobrepasan las indicaciones se está asumiendo el riesgo. Sin embargo si se utilizara durante 10000 horas un elemento que está especificado por catálogo para trabajar 5000 horas, se estaría doblando la duración y disminuyendo a la mitad el costo. El mantenimiento preventivo puede realizarse por tiempo o por estado.

El mantenimiento preventivo también representa algunos inconvenientes, varios autores coinciden en que el principal es intervenir un equipo que se encuentra en funcionamiento simplemente porque le toca su intervención, las maquinas adquieren con su funcionamiento un equilibrio que después de su intervención se

verá afectado, con las intervenciones preventivas estamos afectando constantemente este equilibrio¹².

Otro inconveniente está en cambiar componentes que puede no haber terminado su vida útil teórica, y desconocer el estado real de algunos otros, se desconocen los daños ocultos. En cuanto al costo puede elevarse debido a las continuas intervenciones y cambio de elementos, para algunos muchas veces innecesarios.

2.4.3 Mantenimiento Predictivo.

El mantenimiento predictivo es un conjunto de técnicas que ofrecen entre muchas ventajas la reducción de costos del programa de mantenimiento tradicional, ayuda a asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos instalados, se trata de realizar un seguimiento o monitorización de los equipos de forma permanente o periódica, que permite realizar intervenciones cuando es realmente necesario, estas monitorizaciones permiten detectar fallas en sus etapas más tempranas, lo que da tiempo de planear y programar la mano de obra, el tiempo y los repuestos de la intervención, hasta llegar a reducir los stock de repuestos al saber realmente cuando se van a utilizar, la monitorización periódica resulta muy efectiva luego de definir las frecuencias adecuadas de monitoreo para cada equipo, si la criticidad del equipo es muy alta la recomendación es realizar la monitorización permanente. Adicionalmente una gran ventaja es poder identificar fallas ocultas que regularmente no se encontrarían con el mantenimiento tradicional.

El mantenimiento predictivo consiste en servicios de seguimiento del desgaste de una o más piezas o componentes de equipos prioritarios, a través del análisis de síntomas o estimativa hecha por evaluación estadística, con el objetivo de predecir

¹² ¹² SINAIS INGENIERIA DE MANTENIMIENTO. Mantenimiento preventivo. [en línea]. <http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/intro/mantenimiento_preventivo.html> [citado en 4 de febrero de 2016]

el comportamiento de esas piezas o componentes y determinar el punto exacto de cambio o reparación. Mantenimiento preventivo por estado. Como en el caso anterior, se trata de un Control Predictivo o Previsivo, para ejecución de mantenimiento preventivo¹³. Según esta definición se puede plantear dos tipos básicos de mantenimiento, Correctivo y Preventivo, el mantenimiento predictivo sería otra forma prevenir.

Dentro de los pocos inconvenientes que se pueden relacionar con este tipo de mantenimiento, se encuentran los costos elevados en su etapa inicial, en la adquisición de equipos propios o servicios de terceros, en capacitación del personal, y gastos relacionados principalmente con la implementación. Identificar claramente las técnicas requeridas para cada bien, es fundamental cuando se quiere ser eficiente en la implementación.

¹³ TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 22

2.5 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO ENFOCADAS A EQUIPO ELECTRICO.

Realizar periódicamente el mantenimiento de las instalaciones eléctricas, salva vidas, mejora el rendimiento de los equipos, ahorra grandes sumas de dinero y disminuye el consumo de energía. El mantenimiento en instalaciones eléctricas comenzó a registrarse durante la revolución industrial, pero no fue hasta la década de 1960 cuando la industria automotriz japonesa comenzó a popularizarlo y extender hacia otros sectores, el mantenimiento de instalaciones eléctricas integra diversas acciones que efectivizan el rendimiento de los equipos; entre ella, se destacan la inspección, el ensayo la medición, la sustitución y la limpieza¹⁴.

Para una fácil comprensión del tema, en este trabajo se divide el equipo eléctrico en unidades de transformación (transformadores), interruptores de media tensión, tableros de control y elementos de campo (motores, electroválvulas, actuadores, etc.)

2.5.1. Transformadores.

Los transformadores son equipos electromagnéticos estáticos, cuya función es aumentar o disminuir la tensión de entrada según la aplicación. Permite así entregar una tensión adecuada a las características de cada receptor, también son fundamentales en el transporte de energía eléctrica a largas distancias a tensiones altas con pérdidas mínimas.

¹⁴ ANTONIA TAPIA. Mantenimiento en Instalaciones eléctricas [en línea]. <
<https://constructorelectrico.com/mantenimiento-en-instalaciones-electricas/>> [citado en 28 de febrero de 2016]

El transformador es el equipo eléctrico con el cual la mayoría de los usuarios cometen grandes abusos, estos abusos se reflejan en una disminución considerable de la vida útil de los equipos. Dentro de las prácticas que se deben realizar con regularidad a estos equipos se encuentran:

Pruebas de relación de transformación: Se realiza con el fin de verificar que las relaciones de transformación para cada tap del transformador se encuentren dentro de las tolerancias.

Pruebas de resistencia de aislamiento: Se realiza con el fin de comprobar que los aislamientos del transformador cumplan con la resistencia mínima bajo la operación a la que serán sometidos.

Pruebas de resistencia óhmica: Esta prueba tiene como finalidad verificar la resistencia óhmica de los devanados, así se pueden detectar falsos contactos y espiras en corto circuito.

Pruebas de respuesta de frecuencia: O análisis de barrido de la respuesta en frecuencia, es un método potente y sensible para evaluar la integridad mecánica de los núcleos, devanados y estructuras de sujeción de los transformadores de potencia¹⁵.

Pruebas de corrientes de excitación: Estas pruebas permiten detectar daños o cambios en la geometría de núcleos y devanados, así como espiras en corto circuito y juntas o terminales con mala calidad.

Cromatografía de gases disueltos en el aceite: Los gases formados por la descomposición de los materiales aislantes, se disuelven parcial o totalmente en el aceite, con este análisis se puede obtener información de todas las partes a las que llega el aceite.

¹⁵ SERVICIOS SYSE. Servicio a transformadores [en línea]. <<http://www.syse.com.mx/Prueba-de-Respuesta-a-la-Frecuencia.html>> [citado en 01 de marzo de 2016]

2.5.2. Interruptores de media tensión.

Los interruptores de potencia desempeñan tres tareas principales, cuando están cerrados deben permitir la circulación de corriente con la menor pérdida posible, cuando están abiertos deben dar garantía de aislar completamente el circuito, y cuando ocurre una falla deben interrumpir la corriente de falla tan rápido como sea posible para proteger los equipos. Estos dispositivos tan utilizados y necesarios en la industria, son el punto más común de fallas o en equipo eléctrico, los puntos con alta resistencia en partes de conducción, originan caídas de voltaje, generación de calor y pérdidas de potencia.

Se deben realizar pruebas donde existan puntos de contacto a presión o deslizables, con el fin de medir la resistencia entre la entrada y la salida.

Algunas pruebas que deben aplicarse a los equipos de maniobra y protección son:

Pruebas de aislamiento: Buscan garantizar el correcto funcionamiento del equipo cuando se someta a las tensiones de trabajo.

Pruebas de aceite (humedad y rigidez dieléctrica): Mediante Un Análisis Físico –Químico - Eléctrico al aceite dieléctrico obtenemos información muy importante que nos ayuda a identificar de manera precisa el estado que guardan las propiedades del aceite, diagnosticar sus condiciones operativas y de esta forma poder determinar si el aceite presenta condiciones apropiadas para seguir operando y proteger el aislamiento.

Pruebas de apertura eléctrica y manual: Pretende verificar o garantizar el correcto funcionamiento tanto de la parte mecánica del interruptor como del circuito eléctrico de control del accionamiento.

Pruebas de inyección de corriente: Se realizan para verificar los disparos de los interruptores, existen algunos equipos que permiten también medir los tiempos de retardos.

Inspección, limpieza y ajuste de los contactos: Normalmente el personal de mantenimiento que desconocen, tienden a restar importancia a este tema, cuando la limpieza es un tema fundamental que puede ocasionar muchas fallas, un mal ajuste de los contactos ocasiona puntos calientes.

Limpieza y ajuste de conexiones: La misma actividad mencionada en el punto anterior pero aplicada a las conexiones tanto del cableado de potencia como al cableado de control, pues el primero puede ocasionar puntos calientes y deterioro del aislamiento, y la segunda puede ocasionar fallas aleatorias difíciles de encontrar.

2.5.3. Puestas a tierra.

Un buen sistema de puesta a tierra es necesario para mantener buenos niveles de seguridad del personal, operación de los equipos y desempeño de los mismos.

La actividad fundamental en el mantenimiento del sistema de tierra está determinada en la revisión y ajuste de cada una de los puntos de conexión del sistema de tierra con los equipos y estructuras de la subestación. Eventualmente se ejecuta la prueba de medición de tierra.

Se deben realizar esporádicamente pruebas de tensión de paso y contacto y pruebas de impedancia de la tierra.

2.5.4. Tableros de control.

Es en los tableros de control donde normalmente se encuentran la mayor diversidad de elementos, desde variadores de velocidad en AC y DC, fusibles, contactores, relés, etc. Dependiendo de la aplicación para la cual se construyó, seguramente variara su diseño y por ende los elementos que contenga.

Las pruebas o actividades que se deben realizar sobre estos tableros, están enfocadas al ajuste de las conexiones, limpieza general y alguna otra prueba

dependiendo de los elementos instalados según recomendaciones de los fabricantes.

2.5.5. Otras pruebas que se puede aplicar a equipos eléctricos.

Pruebas de mantenimiento Preventivo: Se ejecuta en intervalos regulares durante la vida útil del equipo. Su objetivo consiste en verificar si un equipo se encuentra en condiciones de operación adecuadas y detectar a tiempo fallas que puedan afectar esta situación.

Pruebas Especiales de Mantenimiento: Se realizan cuando existen sospechas o certeza de que el equipo se encuentra en problemas. También se ejecutan sobre equipos sometidos a condiciones extremas.

Existen pruebas para equipos con aislamiento sólido, líquido, gas o una combinación de ellos. Estas pruebas pueden ser en corriente continua y en corriente alterna, también pueden catalogarse como pruebas destructivas y pruebas no destructivas.

Las pruebas destructivas son del tipo en el cual se aplica voltaje o corriente hasta que el sujeto bajo prueba falle. Conducidas con el propósito de establecer la robustez de cierto diseño; se toma nota del nivel de energía bajo el cual el equipo llega a fallar. Las pruebas no destructivas generalmente se efectúan a niveles de voltaje bajos donde el equipo bajo prueba rara vez resulta dañado¹⁶.

Pruebas de Corriente Continua: Como su nombre lo indica, son pruebas que se realizan aplicando voltaje o corriente continua (DC). Entre estas pruebas se pueden mencionar: Pruebas de alto potencial, pruebas de resistencia de

¹⁶ MEGGER. Evaluación de Estado de Equipo de Subestación [en línea]. <
http://www.artecing.com.uy/pdf/guias_megger/Equipos%20de%20subestaciones.pdf> [citado en 05 de marzo de 2016]

aislamiento y pruebas de medición de resistencias. Algunas ventajas de estas pruebas son:

- Los esfuerzos eléctricos en corriente continua son considerados menos dañinos que los correspondientes a corriente alterna. (No existe inversión de polaridad)
- El tiempo de aplicación de energía continua (DC) no es tan crítico como en el caso de la aplicación de energía alterna AC.
- La prueba puede ejecutarse progresivamente de forma tal que cualquier variación súbita de la corriente de fuga, que pueda indicar una falla en el aislamiento del equipo, permitiría parar la prueba.

Algunas desventajas de las pruebas de corriente continua son:

- La distribución de los esfuerzos eléctricos en máquinas eléctricas sometidas a señales de prueba en corriente continua, son diferentes a los existentes cuando se aplica corriente alterna.
- La carga residual remanente luego de una prueba en DC puede causar daño al operador y debe ser descargada al finalizar la prueba. El efecto de polarización debe ser considerado.

Pruebas de Corriente Alterna: Son pruebas que con excepción a la de alto potencial AC, producen esfuerzos eléctricos similares a los existentes bajo condiciones de operación del equipo. Entre este tipo de pruebas podemos mencionar: Pruebas de Alto Potencial, pruebas de factor de potencia, pruebas de relación de transformación y pruebas de análisis de respuesta en frecuencia. Algunas ventajas de estas pruebas son¹⁷:

- No queda carga residual luego de efectuar la prueba. El equipo bajo prueba no queda polarizado.

¹⁷ MEGGER. Evaluación de Estado de Equipo de Subestación [en línea]. <
http://www.artecing.com.uy/pdf/guias_megger/Equipos%20de%20subestaciones.pdf> [citado en 05 de marzo de 2016]

- permite verificar el aislamiento y las propiedades electromagnéticas de los diferentes arrollados de las máquinas eléctricas.

Algunas desventajas de las pruebas de corriente alterna son:

- Algunas pruebas en corriente alterna como Hi Pot AC y VLF pudieran ser destructivas.
- El tiempo de aplicación del voltaje puede ser crítico.

2.5.6. Termografía.

Es una técnica que permite medir temperaturas exactas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas o de termovisión, se puede convertir la energía radiada en información sobre temperatura, expresada en grados centígrados (°C) y Fahrenheit (°F). La Termografía es la manera más segura, confiable y rápida de detectar cualquier tipo de fallo a través de la temperatura del objeto o sistema. Todos los objetos eléctricos, electrónicos o mecánicos sufren alteraciones en su temperatura debido principalmente a malos funcionamientos, falsos contactos, altas fricciones, rozamientos etc. Esta pérdida de calor no puede ser apreciada a simple vista por el ojo humano. Pero los equipos termo gráficos, pueden captarlo perfectamente. Lo mejor de esta técnica es que lo representa de una manera visual, rápida, sin el contacto físico que puede resultar peligroso y sin interferir con la operación del equipo

2.5.7. Análisis de vibraciones.

El análisis de vibraciones es una de las herramientas más usadas para prevenir problemas en los procesos de producción, a pesar de tener su mayor utilización en temas mecánicos es muy utilizadas para encontrar síntomas tempranos en los motores eléctricos.

Los motores eléctricos son frecuentemente utilizados como motor principal en procesos de fabricación. Dependiendo de su tamaño y fabricación pueden utilizar tanto cojinetes de fricción como rodamientos. Pero no solo para conocer el estado de los cojinetes se utiliza el análisis de vibraciones, las formas específicas de fallo pueden ser registradas incluyendo bandas estrechas que registren la frecuencia de 50 Hz y sus armónicos de 100 y 150 Hz. Si existen problemas eléctricos la frecuencia de línea y sus armónicos señalarán su presencia. La pérdida o rotura de barras del rotor puede ser detectada registrando la corriente del motor: si existe la condición, la frecuencia de deslizamiento se mostrará claramente como bandas adyacentes a cada lado de la frecuencia de línea. A su vez, la pérdida de polos se mostrará como una frecuencia de paso de polos igual al número de polos multiplicado por la velocidad de giro¹⁸.

¹⁸ DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICA Y DE MATERIALES. Vibraciones en Maquinas. Mantenimiento Predictivo [en línea]. < http://www.imem.unavarra.es/EMyV/pdfdoc/vib/vib_predictivo.pdf > [citado en 07 de marzo de 2016]

2.6 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una de las técnicas que existen 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.

2.6.1. Reseña Histórica

Como resultado de la frustración dentro de la agencia de aviación federal (FAA) al no ser posible controlar las fallas de cierto tipo de motores con los cambios y reacondicionamientos programados, en 1960 se creó una fuerza de tarea que consistía en representantes de la FAA y de las aerolíneas para evaluar las capacidades del mantenimiento preventivo. El resultante del trabajo de este grupo se llamó **Programa de Confiabilidad/FAA**, en donde se definió que el objetivo fue, controlar la confiabilidad a través de un análisis de los factores que la afectan, y proveer un sistema de acciones para mejorar los niveles bajos de confiabilidad cuando existan¹⁹, convencidos que no era suficiente hacer énfasis en controlar los periodos de reacondicionamiento trabajados con el mantenimiento preventivo, esta convicción se radica fundamentalmente en dos conclusiones.

- El reacondicionamiento programado tiene un efecto mínimo en la confiabilidad general de un ítem complejo, a menos que el ítem tenga un modo de falla dominante.

¹⁹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 283.

- Hay muchos ítems para los que no hay forma efectiva de mantenimiento programado.²⁰

En 1967 en el Encuentro de Diseño y Operaciones de Aeronaves Comerciales se presentó un informe sobre el uso de una técnica de diagrama de decisión rudimentaria, que no era más que el intento por recopilar todo lo que se había aprendido de los programas de confiabilidad para crear un método de desarrollo lógico y general para para el diseño de programas de mantenimiento preventivo.

El siguiente paso en el desarrollo de las técnicas que finalmente se convertirían en lo que hoy se conoce como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad fue la creación de dos manuales, el MSG-1 y el y el MSG-2, el primero fue un manual de evaluación y desarrollo de programas, que al mismo tiempo contenía los cambios y refinamientos de las técnicas ya mencionadas, y fue realizado el por grupo de mantenimiento encargado de seguir el curso del programa inicial para el entonces nuevo avión Boeing 747. El segundo, fue llamado Documento de Planificación de Programas de Mantenimiento de Fabricantes de Aeronaves, este trajo mejoras con el uso de la técnica de diagrama de decisión.

El MSG-1 y el MSG-2 revolucionaron lo que vendría después en el desarrollo de programas de mantenimiento para aeronaves de transporte, pero su aplicación a otro tipo de equipos se vio limitada por su enfoque breve y especializado. Además la formulación de ciertos conceptos estaba incompleta, no mencionaba el intervalo de tareas, el rol de las funciones ocultas estaba poco claro y el trato del mantenimiento estructurado estaba poco claro, tampoco había guía en el uso de información operativa para refinar o modificar el programa inicial una vez que el equipo entraba en servicio.²¹

²⁰ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 284.

²¹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 285.

En 1974 el Departamento de Defensa de los Estados Unidos encarga a United Airlines preparar un informe de los procesos utilizados por la industria de aviación civil en la elaboración de programas de mantenimiento para aeronaves. El mismo Departamento de Defensa de los Estados Unidos son quienes en 1978 realizan la primera publicación llamada Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap.

Ya conocido como RCM, inicialmente se aplicó con una modificación mínima del diagrama del Nowlan and Heap en la industria minera y de manufactura a principios de 1980.

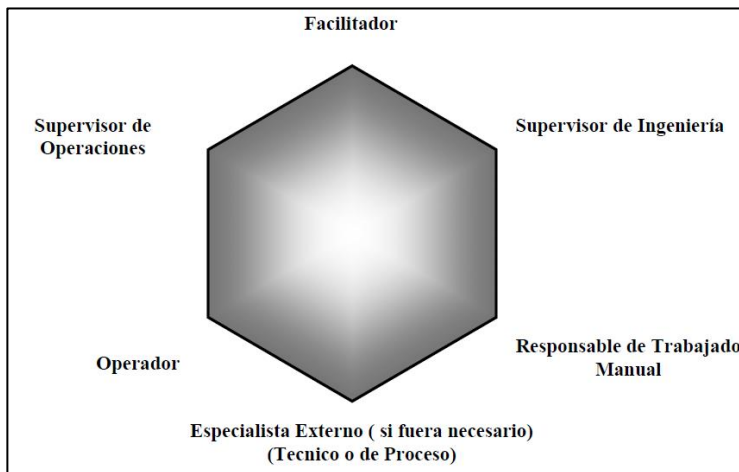
En la década de los 90, muchas industrias inician a desarrollar variaciones del RCM, algunas fieles al proceso expuesto originalmente por F.S. Nowlan y H.F. Heap, como el Comando Aéreo Naval de los Estados Unidos y la Marina Real Británica, con sus guías y normas NAVAIR 00-25-403 y NES45 respectivamente. Muchas otras aparecieron llamadas RCM pero que poco y nada se parecían al concepto planteado inicialmente. En esta década se multiplicaron las revistas y conferencias enfocadas al mantenimiento y era muy claro que procesos muy diferentes estaban siendo llamadas "RCM", y fue por eso que tanto la milicia americana como la industria comercial vieron la necesidad de definir que era un proceso RCM. Como respuesta a esta necesidad en 1996 la SAE comenzó a trabajar en una norma relacionada a RCM y fue en 1998 cuando finalmente se aprueba y se publica. El resultado fue una norma que establece unos criterios mínimos para que un proceso pueda ser llamado "RCM" y se llamó *SAE JA 1011*, luego en el año 2002 la norma *SAE JA 1012*. Están dos normas 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.

2.6.2. Metodología RCM

Si se aplica correctamente, el RCM brinda mejoras remarcables en la efectividad del mantenimiento, y generalmente lo logra a una velocidad sorprendente. Sin embargo la aplicación exitosa de RCM depende de una preparación y planificación meticulosas.²²

Se deben crear pequeños grupos donde se incluya por lo menos una persona responsable del mantenimiento y una persona responsable de la función operativa. Este equipo debe tener una capacitación sobre RCM. En la figura 8 se muestra una estructura típica de un grupo de trabajo de revisión de RCM.

Figura 8. Grupo Típico de Revisión de RCM.

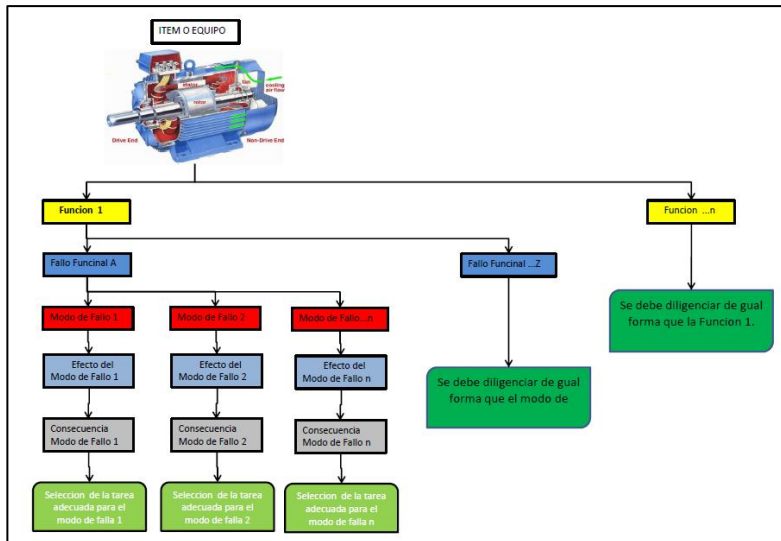


Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad – John Moubray.

²² MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 19.

La figura 9, muestra un esquema general de un análisis RCM, una vez seleccionado un sistema, supone un análisis sistemático para identificar los elementos a analizar y un análisis de criticidad previo, para jerarquizar según su importancia.

Figura 9. Esquema de un Análisis RCM



Teniendo presente que la metodología RCM se basa en siete preguntas fundamentales, el primer paso es definir o seleccionar el objeto de estudio e identificar claramente la fronteras del mismo, es necesario tener claro que el éxito del análisis está en responder cada pregunta en orden de aparición y de forma correcta, sin omitir detalles, con hechos y no suposiciones. Las siete preguntas se relacionan a continuación:

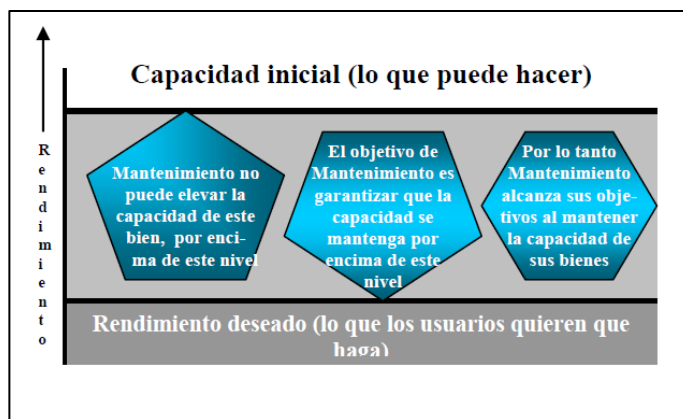
¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?

Esto se logra identificando claramente cuál es la **Función** que los usuarios quieren que el equipo cumpla y asegurando que el equipo tiene la capacidad de dicha función. Las funciones que los usuarios quieren que sus equipos realicen pueden dividirse en dos categorías. La primera a la que se le da el nombre de **Funciones Primarias**, que resumen el motivo por el cual el equipo fue adquirido, estas funciones cubren temas como velocidad, rendimiento o capacidad. Y la segunda, **Funciones Secundarias**, que son las funciones adicionales que los usuarios esperan de las maquinas, seguridad, confort, o incluso la estética.

Se encuentra establecido en los principios de ingeniería que la descripción de una función debe estar definida por un verbo y un objeto. Sin embargo la descripción no estará completa si no especifica con la mayor precisión posible el nivel de desempeño deseado por el usuario, y que efectivamente se encuentre dentro de la capacidad del equipo.

Entre mayor sea la diferencia entre el nivel deseado de desempeño y la capacidad inicial del equipo, mayor será el margen que permita el deterioro del equipo, el campo en el que se puede seguir operando pero ya requiere de alguna intervención. Esto se muestra con claridad en la figura 10.

Figura 10. Relación entre Capacidad y Desempeño Deseado



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad – John Moubray.

Es muy importante al definir las funciones de los equipos incluir otras características como redundancias, niveles de calidad, exigencias medioambientales, características de seguridad, tiempos de trabajo, trabajo en proceso, entre otros, y documentar estos contextos operativos definidos. Una especificación funcional escrita apropiadamente, especialmente si está cuantificada en su totalidad, define precisamente los objetivos de una empresa. Esto asegura que todos los involucrados conocen a la perfección lo que se desea, lo que a su vez garantiza que las actividades de mantenimiento permanecen enfocadas en las necesidades reales del usuario.²³

¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?

O descrito de otra forma ¿Cuáles son las **Fallas Funcionales** del equipo? es decir, si se tiene claro cuál es la función que debe cumplir el equipo, las fallas funcionales aparecen cuando la función no se cumple o incluso cuando se pierde cualquiera de los estándares de desempeño. Prácticamente para definir una falla funcional basta con escribir la función es sentido negativo, negar la función.

Se define “falla” como la incapacidad de un equipo de cumplir con las funciones que el usuario espera que realice. Esta definición se refiere al equipo como un todo, y en la práctica no es muy útil, porque no distingue claramente entre el estado de la falla (falla funcional), y los estados que causan esa falla (modos de falla). La falla funcional se describe como la incapacidad de cualquier equipo de cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario.²⁴ Las fallas funcionales se deben definir teniendo en cuenta aspectos como, falla total o parcial, límites superior e inferior, marcadores e indicadores, y contexto operativo.

²³ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 43.

²⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 46.

¿Que ocasiona cada falla funcional?

Al responder esta pregunta se están identificando los llamados **Modos de Fallas**, se deben identificar todas las posibles causas para cada estado de error. Se deben incluir aquellas fallas que ocurrieron en el mismo equipo o en similares operando bajo el mismo contexto, fallas que estén siendo prevenidas por rutinas de mantenimiento existentes, y aquellas fallas que a pesar de no haber ocurrido aun, se consideran como posibilidades muy reales dentro del contexto en cuestión. Las listas de modos de fallas más tradicionales, incorporan fallas causadas por el deterioro o el uso y desgaste normal. Sin embargo también puede incluir fallas causadas por errores humanos (en parte por operarios y personal de mantenimiento) o por desperfectos de diseño de modo que los posibles causantes de fallas en equipos pueden ser identificados y manejados apropiadamente²⁵.

¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?

Al responder esta pregunta se pretende listar los **Efectos de las Fallas**, que son los que describen lo que sucede cuando se presenta cada modo de falla, esta descripción debe ser completa, con toda la información requerida para respaldar la evaluación de las consecuencias.

Se debe tener en cuenta que los efectos de las fallas no son lo mismo que consecuencias de las fallas. Un efecto de falla responde a la pregunta “¿qué sucede?”, mientras que la consecuencia responde a “¿cómo afecta?”²⁶

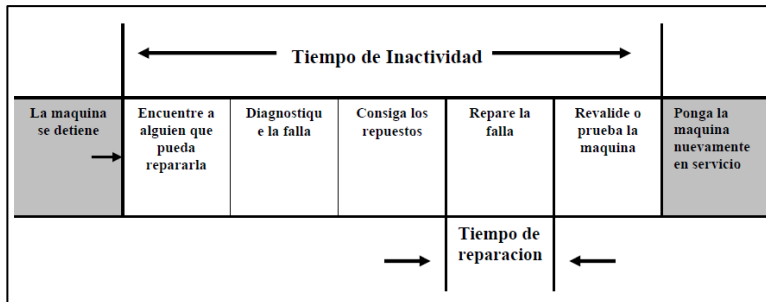
Los efectos de las fallas deben ser descritos para que el equipo pueda determinar si la falla será evidente para los operadores en circunstancias normales. Así mismo la descripción debe establecer si la falla está acompañada o precedida por ruidos fuertes, fuego, humo, olores, etc.

²⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 13.

²⁶ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 71.

La descripción de los efectos de la falla puede ayudar con decisiones operativas y no operativas, debe indicar como se ve afectada la producción teniendo en cuenta el tiempo de inactividad, teniendo en cuenta que el tiempo de inactividad no es solo el tiempo de reparación. Figura 11

Figura 11. Tiempo de Inactividad



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad – John Moubray.

¿De qué modo afecta cada falla?

Esta pregunta hace referencia a las **consecuencias de las Fallas**, es muy fácil confundir los efectos de las fallas con las consecuencias, por eso debe ser claro que los efectos de las fallas describen que sucede cuando esta se presenta, mientras las consecuencias definen la importancia. Están claramente ligadas, pues si se logra reducir los efectos de cualquier falla se reducen las consecuencias relacionadas.

Con cada falla que se presenta la organización se enfrenta a daños de diferentes tipos, desviaciones de calidad, rendimiento o productividad, seguridad o medio ambiente, incrementos de los costos operativos entre otros, existen también falla que aparentan no tener ninguna afectación, pero realmente exponen a la organización a la ocurrencia de fallas mucho más serias.

¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?

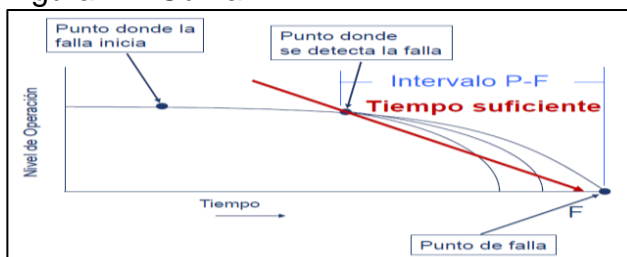
Lo que busca la metodología al responder esta pregunta, es básicamente identificar las tareas que sean técnicamente viables y que tengan la posibilidad de reducir las consecuencias del modo de falla asociado a niveles que sean aceptables para el equipo.

Las tareas que se definan en este punto serán las tareas proactivas, y desde el punto de vista técnico existen dos criterios dominantes para la selección de estas tareas.

El primer criterio es la relación que existe entre la edad del ítem que se está analizando y cuáles son sus posibilidades de fallar. Todo equipo que se encuentra funcionando está expuesto a esfuerzos y por ende a deterioros, existes diversos modos de medir esta exposición a los esfuerzos, rendimiento, distancia recorrida, ciclos operativos, tiempo calendario, etc. Normalmente las unidades de medida esta relacionadas al tiempo, es por eso común referirse a la edad del equipo como la exposición total.

El segundo criterio sucede cuando la falla comenzó a manifestarse, y se refiere a las fallas que poco o nada tienen relación con la edad, pero en cambio sí muestran alguna advertencia (síntoma), si se puede encontrar evidencia cuando un equipo está en las etapas finales de la falla, puede ser posible tomar acciones para evitar que falle completamente o para evitar consecuencias graves. Y es entonces donde es muy útil la curva P-F. Figura 12.

Figura 12. Curva P-F



Fuente: Memorias del Curso RCM – Daniel Ortiz

¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

La respuesta a esta pregunta es solo una, se debe llevar a cabo un **rediseño**. Y la justificación de la respuesta está dada por las diferentes situaciones que se pueden presentar durante el proceso de RCM.

Si no se logra encontrar una tarea proactiva que reduzca a un nivel tolerable el riesgo de falla múltiple asociado a una función oculta, entonces se debe llevar a cabo una **tarea de búsqueda de falla** periódica. Si una tarea de búsqueda de falla apropiada no puede ser determinada, entonces la acción por defecto secundaria es que el ítem debe ser rediseñado.

Si no se logra encontrar una tarea proactiva que reduzca a un nivel tolerable el riesgo de una falla con potencial de afectar la seguridad y el medioambiente, **el ítem debe ser rediseñado**, o se debe cambiar de proceso.

Si no se logra encontrar una tarea proactiva que implique un costo menor que la falla con consecuencias operativas, la decisión por defecto inicial es que no **se realice mantenimiento programado**. Si esto ocurre y las consecuencias operativas siguen siendo inaceptables, entonces la acción por defecto secundaria vuelve a ser el rediseño.

Si no se logra encontrar una tarea proactiva que en determinado periodo de tiempo tenga un costo menor que una falla con consecuencias no-operativas, la decisión por defecto inicial es el **mantenimiento no programado**, y si los costos de reparación fueran demasiado altos, entonces la acción por defecto vuelve a ser el rediseño.²⁷

²⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 158.

2.7 SRCM

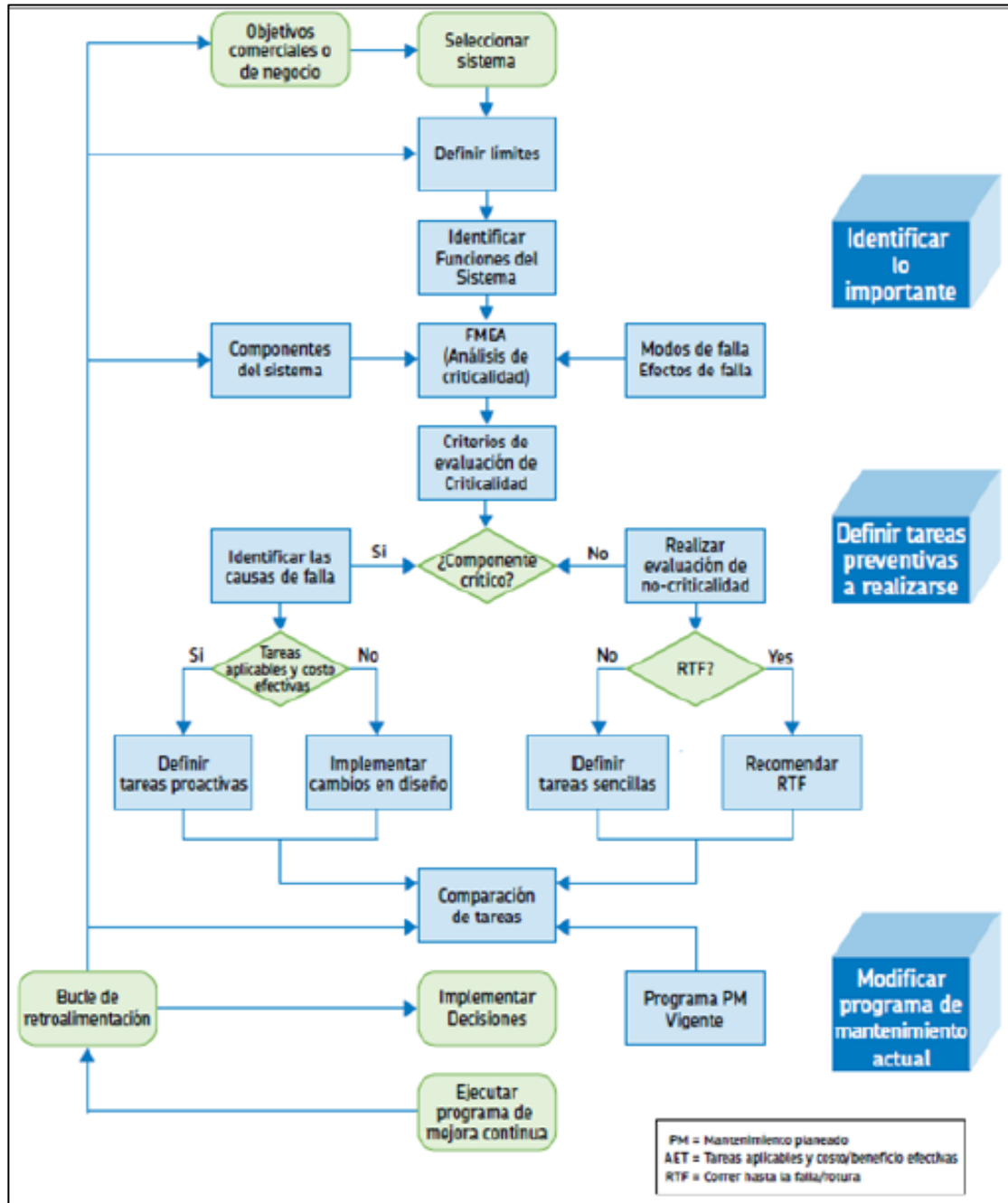
La metodología SRCM de SKF, es un proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad que requiere menos tiempo y recursos que los programas RCM tradicionales. La metodología SRCM se enfoca en determinar los modos de falla predominantes para cada activo y sus efectos a los objetivos de su empresa, recomendando luego acciones correctivas para su prevención. Se evalúan también los efectos no críticos y las actividades que se desarrollan para abordarlos, siempre teniendo en cuenta la relación costo/beneficio. El análisis SRCM de SKF, es un proceso paso a paso que identifica lo importante, define que hacer y facilita el proceso de mejora continua. Los resultados de un análisis SRCM incluye principalmente:

- Evaluación de criticidad.
- Tareas de mantenimiento a ser realizadas incluyendo el área responsable de su ejecución.
- Resultados organizados para el cargue al CMMS.

La metodología de un análisis SRCM cumple plenamente con la norma SAE JA 1011 para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad.²⁸ En la figura 13 se puede ver el esquema general de un análisis SRCM.

²⁸ BERNAL, Pablo. Modelo Estratégico de Mantenimiento para las Subestaciones y Redes Eléctricas de Media Tensión de una Planta Siderúrgica Basado en la Metodología RCM. Trabajo de grado para especialista en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2014. 152 p.

Figura 13. Modelo General De La metodología SRCM de SKF.



Fuente: SKF

3. RECOPIACION Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACION.

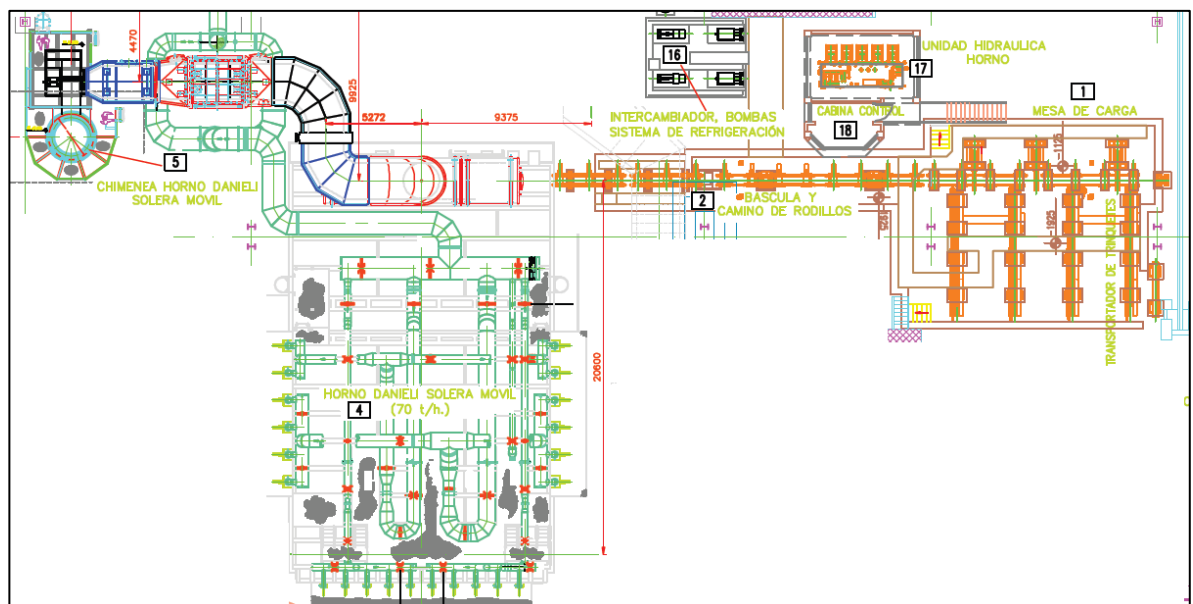
3.1 AREAS DEL TREN DE LAMINACION.

Una buena forma de identificar el área donde se inicia a trabajar es delimitando y definiendo las fronteras de cada una.

El tren de laminación de rollos de la siderurgia a la cual se está aplicando el proyecto piloto, está dividido en varias secciones que se describen a continuación.

Horno de calentamiento de palanquilla, es aquí donde inicia el proceso de laminación, teniendo en cuenta que es un laminado en caliente, a este horno ingresa material a temperatura ambiente, y dependiendo del producto a producir la temperatura de salida puede estar entre 1150°C y 1180°C. La Figura 14 muestra un diagrama general del horno.

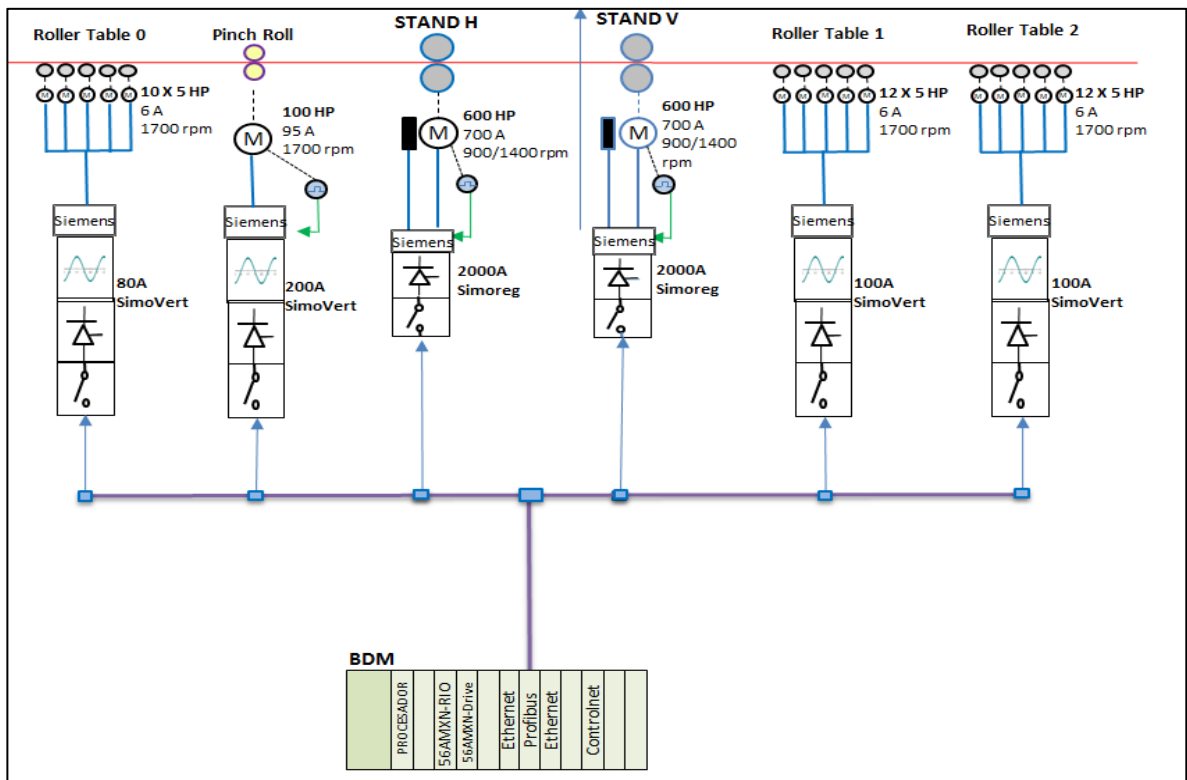
Figura 14. Esquema General Horno



Fuente: Manual de Uso y Mantenimiento.

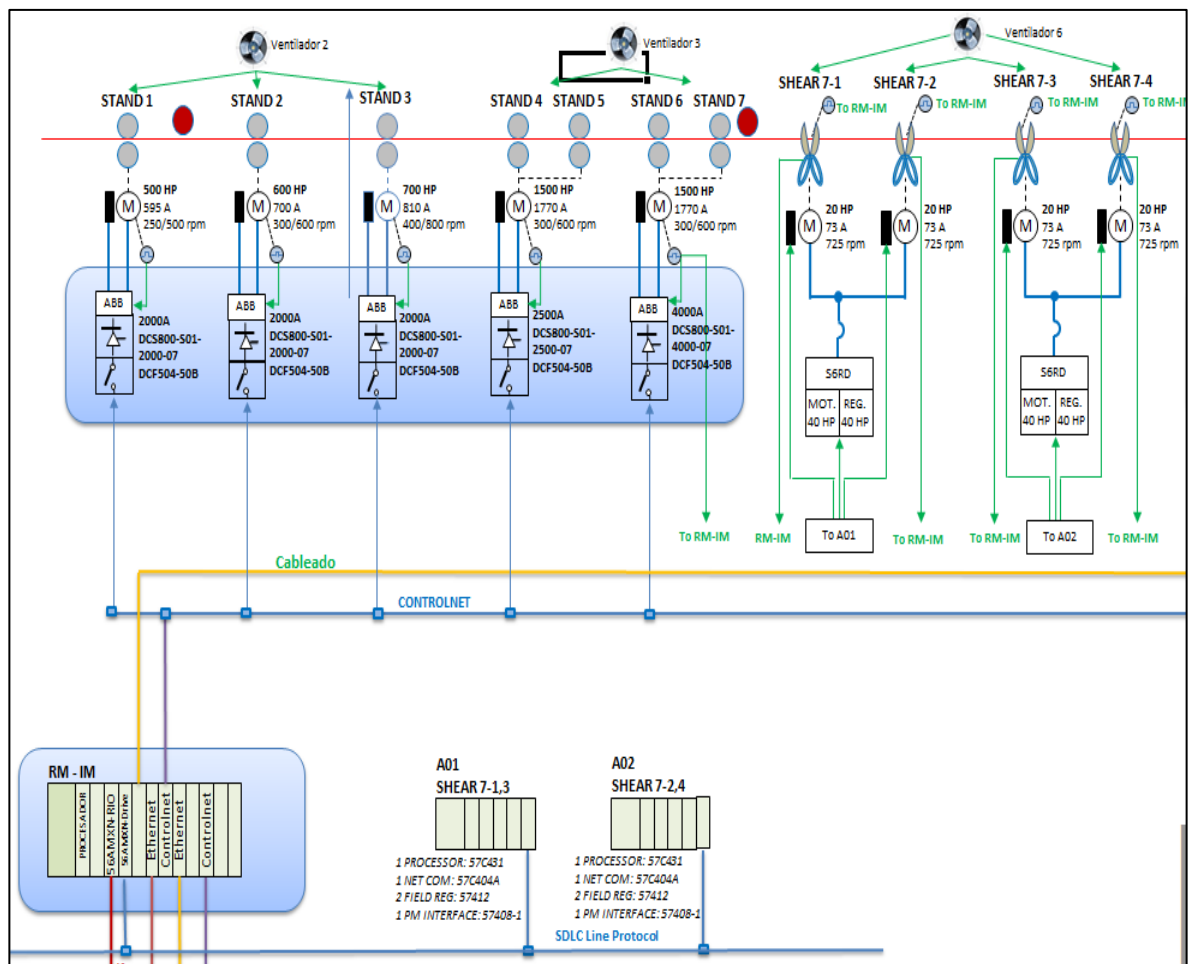
Tren Pre desbastador, esta área del laminador fue instalada junto con el horno de calentamiento durante un proyecto de reconversión industrial y entro en funcionamiento en el año 2007. Fue necesaria su implementación pues la siguiente área está limitada a recibir barras o palanquillas con un área máxima de $10000mm^2$ (100mm X 100mm), y después del mencionado proyecto, estas palanquillas pasaron a tener un área de $16900mm^2$ (130mm X 130mm). Este pre desbastador reduce realizada las dos primeras reducciones y entrega una barra en las medidas necesarias para continuar el proceso. Este pre desbastador tiene una sola línea de producción, pero tiene la capacidad de alimentar las dos líneas de producción que están adelante en el proceso. La Figura 15 muestra un diagrama que trata de agrupar el proceso desde el punto de vista eléctrico y de control.

Figura 15. Diagrama Tren Pre Desbastador



Tren desbastador, esta área está conformada por 7 cajas laminadoras, y es el proceso que sigue al pre desbastador, aquí se tienen dos líneas de producción que no son independientes, es decir, comparten los cilindros de laminado, los reductores, los motores, los sistemas de lubricación, etc. Al finalizar esta área se encuentra un grupo de cizallas, que tiene la finalidad de cortar la cabeza y la cola de la barra que en esta etapa del proceso ya ha estado sometida a 9 reducciones. La Figura 16 muestra un diagrama que trata de agrupar el proceso desde el punto de vista eléctrico y de control.

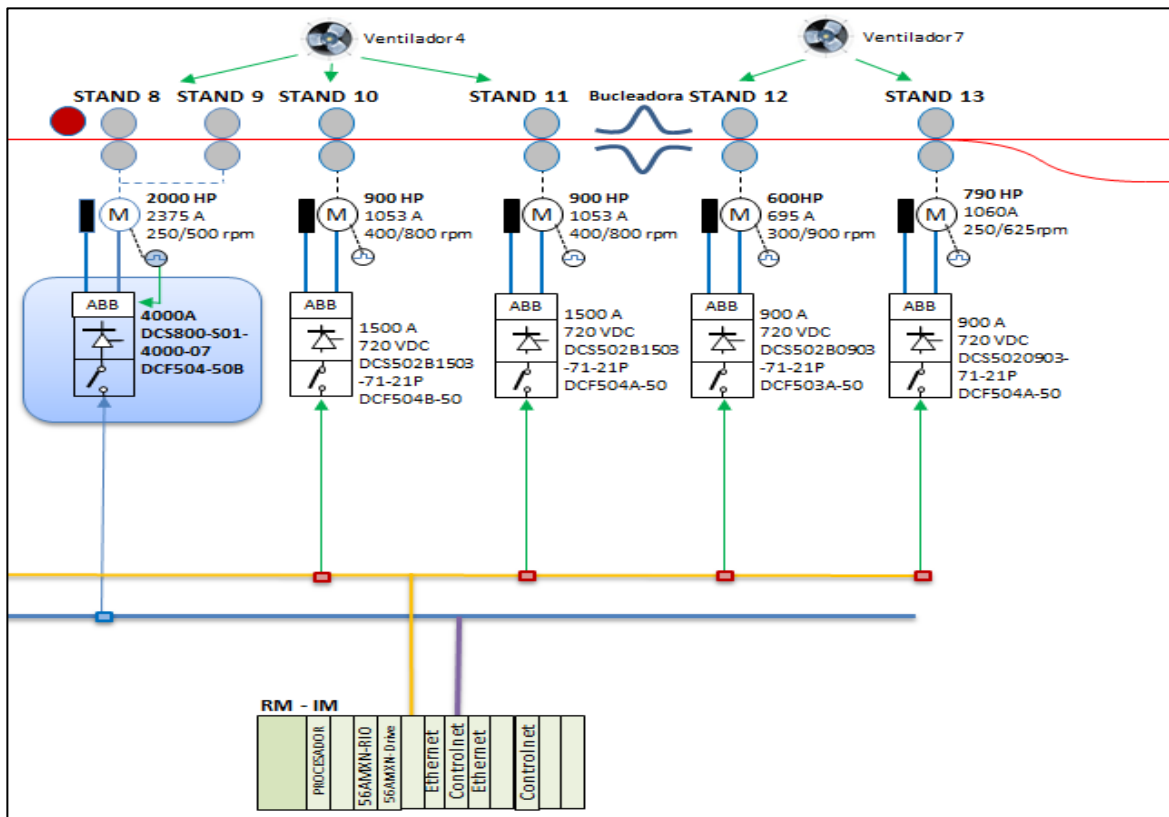
Figura 16. Diagrama Tren Desbastador.



Fuente: El Autor

Tren Intermedio, está compuesto por 6 cajas de laminación, al igual que el anterior tiene dos líneas de producción que no son independientes, cada línea de producción también comparte cilindros de lamiando, los reductores, los motores, los sistemas de lubricación, etc. Esta área entrega el producto a la última parte del proceso de laminado. A la salida de esta área el laminador se divide, las dos líneas de producción se vuelven independientes.

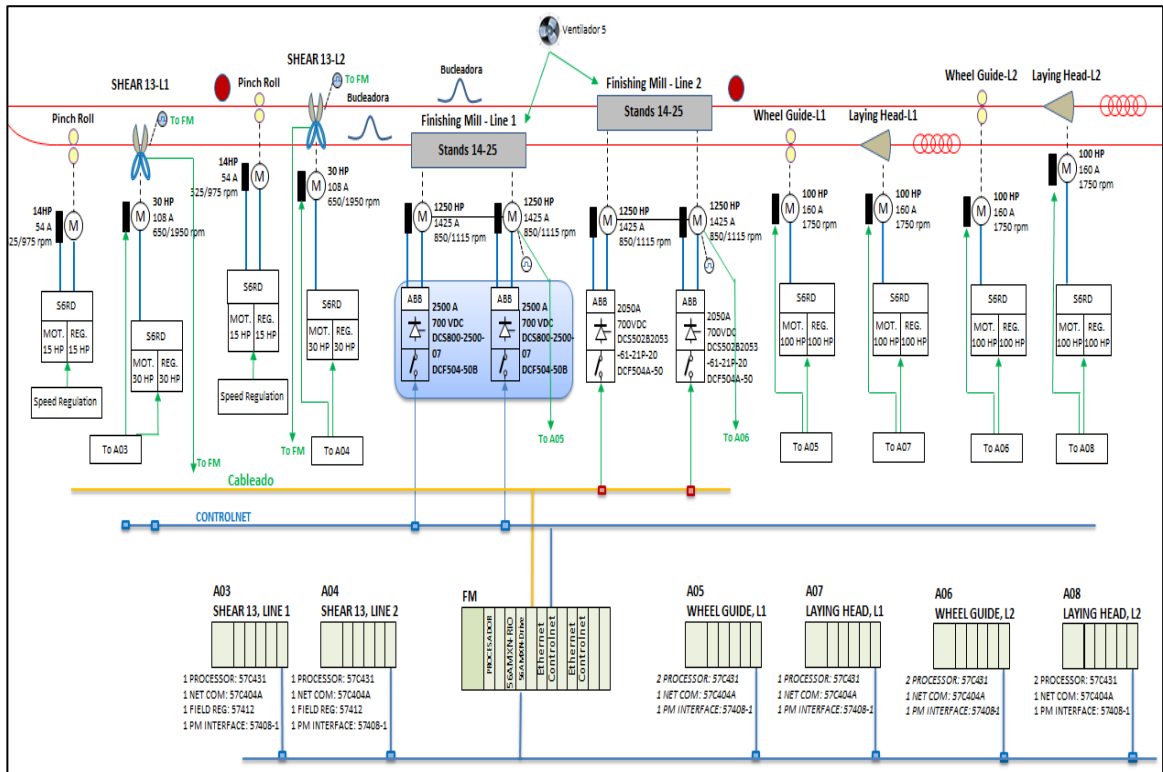
Figura 17. Diagrama Tren Intermedio



Trenes finalizadores

En esta área del laminador las líneas de producción se independizan, por esta razón existen dos trenes terminadores o finalizadores, son estructuras mono bloques, con 10 cajas laminadoras que reciben el nombre de módulos, cada bloque terminador es accionado por dos motores de corriente directa acoplados en tándem de 1250HP cada uno. La última caja o módulo según el producto puede llegar a girar a 4000 RPM.

Figura 18. Diagrama Trenes Terminadores.



3.2 TAXONOMIA HORNO DE CALENTAMIENTO.

La taxonomía definida para el horno de calentamiento y sus auxiliares se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Taxonomía Actual del Horno

7011-LL	Laminacion Largos
7011-LL-05	Tren Morgan
7011-LL-05-RCP01	Calentamiento Palanquilla
7011-LL-05-RCP01-SCP	Sistema Cargue de Palanquilla
7011-LL-05-RCP01-HOD	Horno Danielli
7011-LL-05-RCP01-CEH	Central Hidráulica Horno Danielli
7011-LL-05-RCP01-CCW	Sistema de Refrigeración CCW
7011-LL-05-RCP01-SAC	Sistema de Aire Comprimido
7011-LL-05-ZPD07	Tren Predesbastador
7011-LL-05-ZTD08	Tren Desbastador
7011-LL-05-ZTI09	Tren Intermedio
7011-LL-05-BLT10	Tren Acabador

Fuente: CMMS

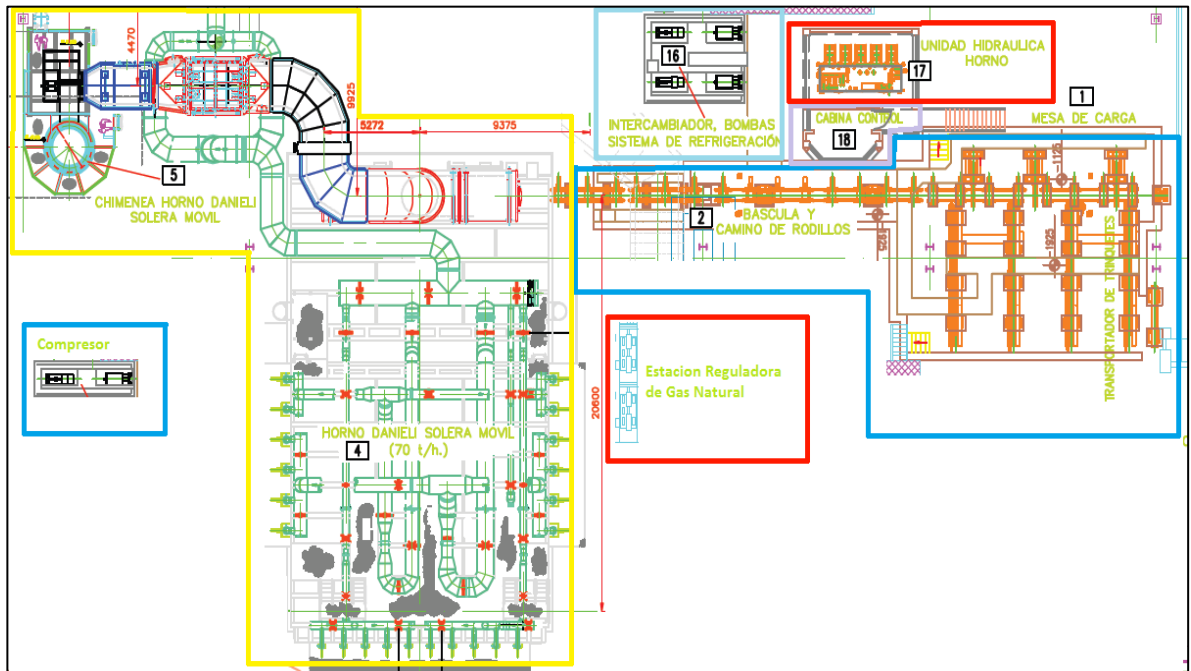
Según la taxonomía de la figura 19, se definieron cinco áreas generales del horno, como parte de este trabajo piloto se propone modificar las ubicaciones técnicas según la Figura 20, estas ubicaciones técnicas se proponen con base en la figura 21 donde se delimitan gráficamente estas ubicaciones.

Figura 20. Ubicaciones Técnicas Propuestas para Horno de Calentamiento

7011-LL-05 Tren Morgan	
7011-LL-05-RCP01 Calentamiento Palanquilla	
	7011-LL-05-RCP01-SCP Sistema Cargue de Palanquilla
	7011-LL-05-RCP01-HOD Horno Danielli
	7011-LL-05-RCP01-CEH Central Hidraulica Horno Danilei
	7011-LL-05-RCP01-CCW Sistema de Regrigeracion CW
	7011-LL-05-RCP01-SAC Sistema de Aire Comprimido
	7011-LL-05-RCP01-SGN Sistema de Gas Natural
	7011-LL-05-RCP01-CCP- Cuarto de Control Principal
	7011-LL-05-RCP01-CCM- Cuarto de Control de Motores

Fuente: El Autor

Figura 21. Delimitación Ubicaciones Técnicas.



Para seguir con la taxonomía del horno de palanquilla se definieron las máquinas de cada ubicación, estas máquinas están modificadas al igual que las ubicaciones técnicas como propuesta del piloto que se realiza. Lo que busca es tener adicional al plan de mantenimiento la estructura para ser cargada al CMMS, en la Figura 22 se muestra las maquinas propuestas para cada ubicación técnica, muestra ya un detalle de lo que son los equipos para cada máquina.

El no tener una adecuada taxonomía dificulta poder registrar los fallos adecuadamente, esto se menciona con más detalle adelante.

Figura 22. Maquinas asignadas a cada Ubicación Técnica.

7011-LL-05-RCP01 Calentamiento Palanquilla	
7011-LL-05-RCP01-SCP Sistema Cargue de Palanquilla	7011-LL-05-RCP01-SCP-MCP Mesa de Cargue
	7011-LL-05-RCP01-SCP-DTP Dispositivo de Traslado de Palanquilla
	7011-LL-05-RCP01-SCP-CR1 Camino de Rodillos 1
	7011-LL-05-RCP01-SCP-CR2 Camino de Rodillos 2
	7011-LL-05-RCP01-SCP-CR3 Camino de Rodillos 3
	7011-LL-05-RCP01-SCP-TCL Tablero de Control Local
7011-LL-05-RCP01-HOD Horno Danieki	7011-LL-05-RCP01-HOD-PUC Puerta de Cargue
	7011-LL-05-RCP01-HOD-CRE Camino de Rodillos de Entrada
	7011-LL-05-RCP01-HOD-MAP Maquina de Alineación de Palanquilla
	7011-LL-05-RCP01-HOD-SOM Solera Móvil Horno
	7011-LL-05-RCP01-HOD-ESH Estructura Horno
	7011-LL-05-RCP01-HOD-DEP Dispositivo de Extracción de Palanquilla
	7011-LL-05-RCP01-HOD-CRS Camino de Rodillos de Salida
	7011-LL-05-RCP01-HOD-PUD Puerta de Descargue
	7011-LL-05-RCP01-HOD-SAC Sistema de Aire de Combustión
	7011-LL-05-RCP01-HOD-SEH Sistema de Extracción de Humos
	7011-LL-05-RCP01-HOD-ZC1 Zona de Combustión 1
	7011-LL-05-RCP01-HOD-ZC2 Zona de Combustión 2
	7011-LL-05-RCP01-HOD-ZC3 Zona de Combustión 3
	7011-LL-05-RCP01-HOD-ZC4 Zona de Combustión 4
	7011-LL-05-RCP01-HOD-R40 Tablero Remoto 40
	7011-LL-05-RCP01-HOD-R41 Tablero Remoto 41
7011-LL-05-RCP01-CEH Central Hidráulica Horno Danieki	7011-LL-05-RCP01-CEH-MOT Motores
	7011-LL-05-RCP01-CEH-BOM Bombas
	7011-LL-05-RCP01-CEH-INS Instrumentación
	7011-LL-05-RCP01-CEH-TUB Tubería
	7011-LL-05-RCP01-CEH-EST Estructura
7011-LL-05-RCP01-CCW Sistema de Refrigeración Cw	7011-LL-05-RCP01-CCW-MOT Motores
	7011-LL-05-RCP01-CCW-BOM Bombas
	7011-LL-05-RCP01-CCW-INS Instrumentación
	7011-LL-05-RCP01-CCW-TUB Tubería
	7011-LL-05-RCP01-CCW-EST Estructura
7011-LL-05-RCP01-SAC Sistema de Aire Comprimido	7011-LL-05-RCP01-SAC-COM Compresor
	7011-LL-05-RCP01-SAC-SRE Secador Refrigerativo
	7011-LL-05-RCP01-SAC-SDE Secador Desecante
	7011-LL-05-RCP01-SAC-INS Instrumentación
	7011-LL-05-RCP01-SAC-TUB Tubería
	7011-LL-05-RCP01-SAC-EST Estructura
7011-LL-05-RCP01-SGN Sistema de Gas Natural	7011-LL-05-RCP01-SGN-ER1 Etapa de regulacion 1
	7011-LL-05-RCP01-SGN-ER2 Etapa de regulacion 2
	7011-LL-05-RCP01-SGN-INS Instrumentacion
	7011-LL-05-RCP01-SGN-TUB Tubería
7011-LL-05-RCP01-CCP Cuarto de Control Principal	7011-LL-05-RCP01-CCP-COM Computadores
	7011-LL-05-RCP01-CCP-POP Púlpitos de Operación
	7011-LL-05-RCP01-CCP-TRO Tablero Remoto operador
7011-LL-05-RCP01-CCM- Cuarto de Control de Motores	7011-LL-05-RCP01-CCM-CR1 Camino de Rodillos 1
	7011-LL-05-RCP01-CCM-CR2 Camino de Rodillos 2
	7011-LL-05-RCP01-CCM-CR3 Camino de Rodillos 3
	7011-LL-05-RCP01-CCM-CRE Camino de Rodillos Entrada
	7011-LL-05-RCP01-CCM-CRS Camino de Rodillos Salida
	7011-LL-05-RCP01-CCM-VAC Ventilador Aire de Combustion
	7011-LL-05-RCP01-CCM-VEH Ventilador Extractor de Humos
	7011-LL-05-RCP01-CCM-MCH Motores Central hidraulica
	7011-LL-05-RCP01-CCM-MSR Motores Sistema de Refrigeracion
	7011-LL-05-RCP01-CCM-CAC Compresor Aire Comprimido
	7011-LL-05-RCP01-CCM-PLC Control Logico Programable

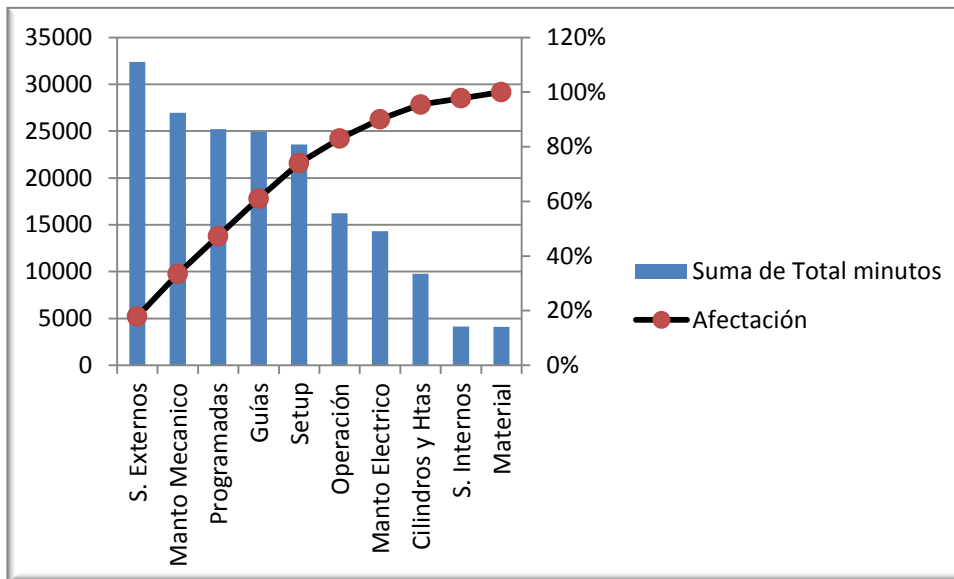
Figura 23. Equipos de cada máquina.

3	701LL06 Tren Moquea			
4	701LL06-PCPM SCP Calentamiento Palanquilla			
5	701LL06-PCPM SCP Sistema Cargue de Palanquilla			
6		701LL06-PCPM SCP MCP Mesa de Cargue	701LL06-PCPM SCP MCP SIM Seccion 1 de la Mesa	
8				Biela de Interconexión
9				Podamiento 1 Biela
10				Podamiento 2 Biela
11				Estructura
12				Rueda 1
13				Rueda 2
14				Rueda 3
15				Rueda 4
16				Rueda 5
17				Rueda 6
18				Rueda 7
19				Rueda 8
20				Sensor inductivo Pos Adelante
21				Sensor inductivo Pos Atrás
22				Piel de desgaste 1
23				Piel de desgaste 2
24			701LL06-PCPM SCP MCP SIM Seccion 2 de la Mesa	
41			701LL06-PCPM SCP MCP SH Sistema Hidraulico	
49			701LL06-PCPM SCP MCP SPB Sensor Presencia de Barra	
54				
55		701LL06-PCPM SCP OTP Dispositivo de Traslado de Palanquilla		
56			Posicional Numero 1	
57				Estructura
58				Podamiento 1 Articulación
59				Podamiento 2 Articulación
60				Podamiento 1 Deslizamiento
61				Podamiento 2 Deslizamiento
62				Sensor Pos Arriba
63				Sensor Pos Abajo
64				Sensor Pos Inmediato
65				Sensor Pos Atrás
66				Sensor Pos Adelante
67			Posicional Numero 2	
78			Posicional Numero 3	
89			Sistema Hidraulico	
900			Sensor de Presencia de Barra	

El siguiente paso consiste en agrupar las fallas de diferentes formas para tener un panorama completo de la planta, hasta llegar a obtener los datos necesarios para la toma de decisiones dentro del contexto de todos los equipos.

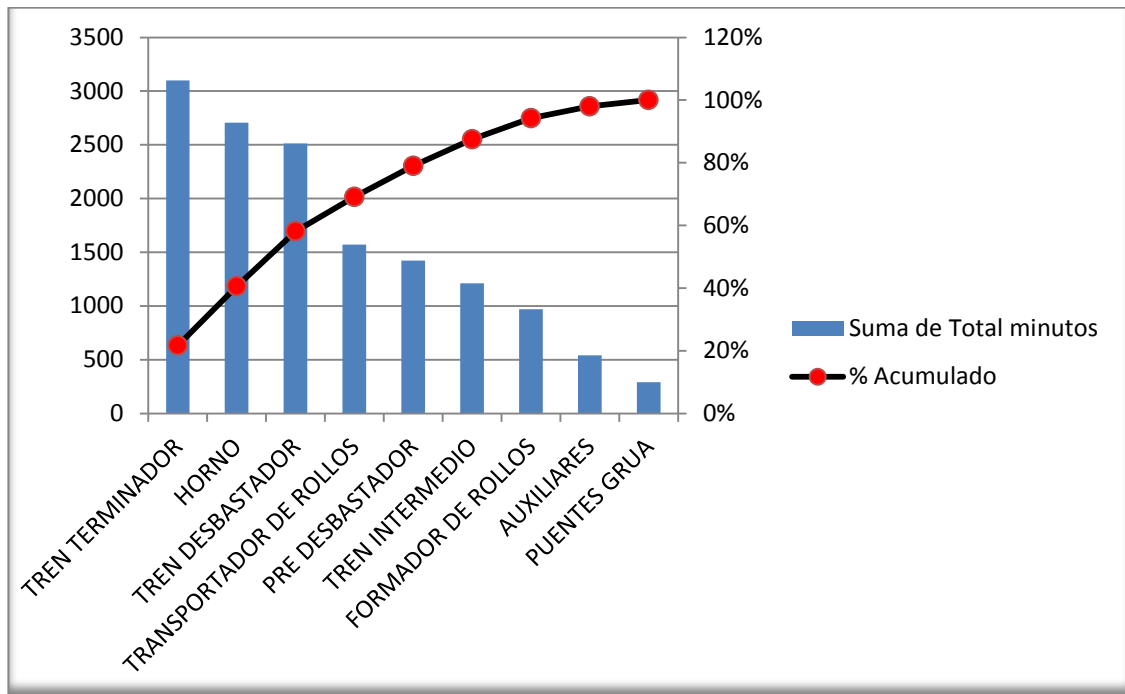
La Figura 25 muestra el total de fallos no programados durante el año según la especialidad, eléctrica, mecánica, servicios externos, etc.

Figura 25. Asignación de fallos no programados por especialidad.



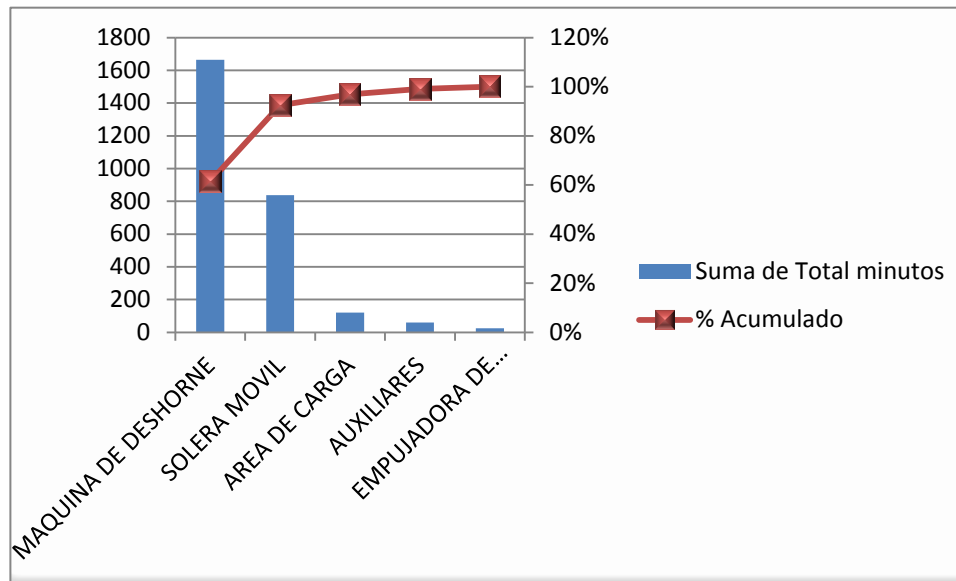
Para continuar con el análisis de las fallas la figura 26 muestra como es la distribución de los paros no programados según las áreas del tren laminador. Teniendo en cuenta los resultados de esta información y conociendo que la compañía ya elaboró el plan de mantenimiento para el tren terminador, también basado en SRM, se toma la decisión de elaborar el plan piloto para el horno de calentamiento de palanquilla.

Figura 26. Fallas Eléctricas por Área.



La Figura 27 muestra la asignación de las fallas del horno de calentamiento de palanquilla según los sistemas especificados en la estructura propuesta. Como se mencionó anteriormente, los inconvenientes que presenta la taxonomía impiden llegar al detalle de los elementos de falla.

Figura 27. Detalle de Paradas Eléctricas del Horno.



3.4 DEFINICIÓN DE FRONTERAS, SISTEMAS, SUBSISTEMAS.

Definir las fronteras es la base de la cual se parte para realizar los pasos que vienen a continuación, es muy importante definir claramente las fronteras, esto ayuda a incluir de forma clara las maquinas o equipos que serán incluidos en el análisis, para el desarrollo del trabajo las fronteras definidas están dadas por la figura 21, donde se delimitan las ubicaciones técnicas del horno de calentamiento de palanquillas, estas mencionadas ubicaciones técnicas son para el análisis los sistemas a analizar.

Para cada sistema demarcado, existen varios subsistemas, la figura 28 muestra el formato de SRCM donde se define el primer sistema y los subsistemas correspondientes,

Figura 28. Formato para definir sistemas y subsistemas.

FORMATO SRCM	
SISTEMA	SUB SISTEMA
CARGUE DE PALANQUILLA	MESA DE CARGUE
	DISPOSITIVO DE TRASLADO DE PALANQUILLA
	CAMINO DE RODILLOS
	EMPUJADORA DE PALANQUILLA

3.5. FUNCIÓN, FALLA FUNCIONAL Y ACTIVOS ASOCIADOS.

Después de relacionar los activos asociados a cada subsistema se deben relacionar los modos de falla de cada activo, y para cada modo de falla se debe describir de la manera más clara el efecto que tiene cada uno de los modos de falla descritos. Es muy importante tener claridad en la descripción de estos efectos, que son la base para avanzar con la metodología de manera efectiva. La figura 29 muestra la forma que se utilizó para describir los modos y los efectos de las fallas relacionados para los subsistemas del cargue de palanquillas, el formato completo se observa en el anexo A.

Figura 29. Modos y Efectos de Falla.

METODOLOGIA		FORMATO SRCM						
SUB SISTEMA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	Item	ACTIVO ASOCIADO	CODIGO ISO 14224 DE LA FALLA	EFFECTOS DE FALLA		
MESA DE CARGUE	EMPUJAR HACIA ADELANTE UN MAXIMO DE 5 PAQUETES DE PALANQUILLAS DE 5 PALANQUILLAS CADA PAQUETE. DETENERSE CADA VEZ QUE UNA PALANQUILLA ALCANCE LA POSICION DE DESCARGA.	NO EMPUJAR LOS PAQUETES DE 5 PALANQUILLAS HACIA ADELANTE, NO DETENERSE CUANDO UNA PALANQUILLA LLEGA A LA POSICION DE DESCARGA	1	Sensor posicion adelante de la seccion 1	UST	Parada esporádica	no se detiene la mesa en la posicion requerida	
					DOP	Operación retardada	no se detiene la mesa en la posicion requerida	
					BRD	Colapso	imposibilita la operación de la mesa. parada corta de producción	
					NOO	No hay salida	imposibilita la operación de la mesa. parada corta de producción	
			2	Sensor posicion adelante de la seccion 2	Sensor posicion adelante de la seccion 2	UST	Parada esporádica	no se detiene la mesa en la posicion requerida
						DOP	Operación retardada	no se detiene la mesa en la posicion requerida
						BRD	Colapso	imposibilita la operación de la mesa. parada corta de producción
						NOO	No hay salida	imposibilita la operación de la mesa. parada corta de producción
			3	Sensor posicion atras de la seccion 1	Sensor posicion atras de la seccion 1	UST	Parada esporádica	no se detiene la mesa en la posicion requerida
						DOP	Operación retardada	no se detiene la mesa en la posicion requerida
						BRD	Colapso	imposibilita la operación de la mesa. parada corta de producción
						NOO	No hay salida	imposibilita la operación de la mesa. parada corta de producción
			4	Sensor posicion atras de la seccion 2	Sensor posicion atras de la seccion 2	UST	Parada esporádica	no se detiene la mesa en la posicion requerida
						DOP	Operación retardada	no se detiene la mesa en la posicion requerida
						BRD	Colapso	imposibilita la operación de la mesa. parada corta de producción
						NOO	No hay salida	imposibilita la operación de la mesa. parada corta de producción
			5	Sensor de Presencia de barra	Sensor de Presencia de barra	UST	Parada esporádica	detiene la mesa de cargue
						DOP	Operación retardada	detiene la mesa de cargue en una posicion inadecuada
						BRD	Colapso	detiene la mesa de cargue suspende el cargue del horno, parada corta de producción
						NOO	No hay salida	detiene la mesa de cargue suspende el cargue del horno, parada corta de producción
			6	Electrovalvula Bidireccional	Electrovalvula Bidireccional	UST	Dificultad estructural	detiene la mesa de cargue en una posicion inadecuada
						FTI	Plan de accionar cuando se requiere	No se mueve la mesa
						BRD	Colapso	no se mueve la mesa, suspende el cargue del horno, parada de producción, perdida de aceite
						VIB	Vibración	deterioro del equipo.
ELU	Fuga externa de fluido de servicio	daños al medio ambiente, perdida de aceite						
CCO	Fuga en posición cerrada	avance o retroceso de la mesa sin orden, caída de barras al camino de rodillos						
PLU	Obstrucción	no se mueve la mesa, suspende el cargue del horno, parada de producción						

3.6. EVALUACIÓN DE CRITICIDAD

Dentro de la metodología SRCM se evalúan los efectos de las fallas relacionados a cada activo asociado, es de gran importancia pues la metodología lleva a la última parte que es la elaboración del plan solo los activos que resultan tener efectos críticos de acuerdo a la evaluación realizada, esta evaluación se lleva a cabo mediante una matriz cuyo parámetros varían según la importancia que cada compañía disponga, para el proyecto se utiliza la matriz de criticidad que tiene establecida la compañía y se puede observar en el anexo E. La figura 30 muestra la evaluación de los primeros efectos de falla. La columna Item relaciona los ítems según la ubicación que se asignó cuando se definieron los activos asociados, es así como se hace seguimiento al mismo ítem durante cada paso.

Figura 30. Evaluación de Criticidad.

Metodología		TABLA DE CALCULO PARA DETERMINAR LA CRITICIDAD					
UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	CALIFICACIÓN				CLASIFICACIÓN
			SSMA	CALIDAD	PRODUCCIÓN	COSTO	
CUARTO DE CONTROL	Tablero de control Aire gas y extacción de humos	apagada del horno, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		apagada del horno, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
		apagada del horno, perdida de produccion	3	1	1	3	Clase B
		combustion inadecuada	1	1	1	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
		apagada del horno, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
	Tablero de control movimiento del horno	no es posible realizar los ciclos de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	5	3	Clase A
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		no es posible realizar los ciclos de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	5	3	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	1	Clase C
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	3	3	Clase B
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
CUARTO TRANSFORMADORES	Transformador 1	no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
		no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
		deterioro de todos los equipos	1	1	1	5	Clase A
		deterioro de todos los equipos	1	1	1	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
		no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
		deterioro del aislamiento	1	1	1	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	5	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	3	1	Clase C
	Tableros de distribucion	no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
		no es posible realizar intervenciones	1	1	3	1	Clase C
		no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
		perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C		

3.7. MECANISMO DE FALLA (CAUSA)

A esta tabla en la metodología SRCM, solo se llevan los modos de falla que corresponden a los efectos de falla que después de la evaluación de criticidad se clasifican como clase A o críticos, sin perder el seguimiento del activo asociado al cual corresponden (Item). Para cada modo de falla se debe identificar el o los mecanismos de falla (causas) que puedan ocasionarlo. La figura 31 muestra el formato utilizado para esto, y el formato completo se puede ver en el anexo G.

Figura 31. Mecanismo de Falla.

CAUSA DE LA FALLA			
ITEM	CLASE DE COMPONENTE	MODOS DE FALLA	MECANISMO DE FALLA (CAUSA)
6	Electrovalvula Bidireccional	Colapso	Golpe, elemento externo
		Fuga en posición cerrada	Desgaste en el spool
			Rayadura en el spool
			Desgaste en elos oring
Obstrucción	suciedad en el aceite.		
12	Electrovalvula Arriba Abajo	Fuga externa de fluido de servicio	empaques y sellos en mal estado
		Fuga en posición cerrada	Desgaste en el spool
			Rayadura en el spool
			Desgaste en elos oring
Obstrucción	suciedad en el aceite.		
13	Electrovalvula adelante atrás	Fuga externa de fluido de servicio	empaques y sellos en mal estado
		Fuga en posición cerrada	Desgaste en el spool
			Rayadura en el spool
			Desgaste en elos oring
Obstrucción	suciedad en el aceite.		
14	Motor	Energía de salida baja	Defectos en las chapas
		Vibración	Soltura mecanica
			desalineacion
			desbalanceo
		Ruido	problemas electricos
Sobrecalentamiento	rodamientos		
			bajo aislamiento
			alto consumo

4.0. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN.

En las etapas finales de la metodología se busca la practicidad, describir la operación se refiere a buscar una actividad de tipo preventivo, predictivo, eléctrico, mecánico o cualquier otro que pueda evitar o mitigar un efecto de falla, aquí sigue siendo importante no perder de vista el activo asociado que se está analizando, pues varios de ellos no llegan a contemplarse en el plan debido a que no se consideraron como críticos. La descripción de la operación se redacta bajo el concepto teórico, o bajo la experiencia del grupo de trabajo.

4.2 FRECUENCIAS DE EJECUCIÓN.

La definición de las frecuencias de ejecución al igual que todo el proceso también es muy importante, hasta este punto puede haberse realizado una buena labor, pero puede ser muy fácil equivocarse al seleccionar las frecuencias, una frecuencia muy alta puede causar que el plan de mantenimiento deje de ser económicamente viable, y por otro lado una frecuencia muy baja puede llegar a ocasionar que se presente el mecanismo de falla sin que se complete aun el tiempo de la actividad que debe evitarla o mitigarla. Nuevamente se acude a la teoría o recomendación del fabricante o si se tiene histórico de fallas puede ser una buena fuente de consulta.

4.3 NÚMERO DE PERSONAS Y DURACIÓN.

El número de personas puede variar dependiendo del grado de dificultad de la operación asignada, o de las políticas de cada compañía, para este proyecto se

asignó el número de personas y la duración, bajo el concepto y la investigación del autor.

4.4 TIPOS DE TAREA.

El tipo de tarea se asigna con el fin de determinar el grupo de mantenimiento encargado de realizar la operación, y así poder identificar la carga de trabajo y los responsables de cada tarea.

4.5 FORMATO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

La figura 32, muestra el modelo del formato del plan de mantenimiento, en el anexo H se puede ver el plan de mantenimiento completo para 18 activos críticos del horno de calentamiento de palanquilla.

Figura 32. Formato del Plan de Mantenimiento.

PLANES DE MANTENIMIENTO Y RUTINAS DE INSPECCION				FRECUENCIA												RUTA	N° PERSONAS	DURACIÓN (hrs.)	TIPO DE TAREA
ITEM	CLASE COMPONENTE	MECANISMOS DE FALLA	DISCIPLINA	DESCRIPCIÓN OPERACIÓN	1D	1S	2S	1M	2M	3M	4M	6M	1A	2A	3A				
35	Motor	desalineación	PREDICTIVA	análisis de vibraciones													1	0,5	PREDICTIVO
		desbalanceo	PREDICTIVA	análisis de vibraciones													1	0,5	PREDICTIVO
		problemas eléctricos	PREDICTIVA	análisis de vibraciones													1	0,5	PREDICTIVO
		rodamientos	PREDICTIVA	análisis de vibraciones													1	0,5	PREDICTIVO
		bajo aislamiento	INSPECCION	refrescar aislamiento											X		2	24	PREVENTIVO
		alto consumo	INSPECCION	toma de lectura de los consumos					X								1	0,5	INSPECCION
36	Arrancador suave	fisuras en la estructura	INSPECCION	inspeccion visual				X								1	0,5	INSPECCION	
		golpes enteros	INSPECCION	inspeccion visual				X								1	0,5	INSPECCION	
		Soltura mecánica	ELECTRICA	Ajuste de los componentes						X						1	1	PREVENTIVO	
		problemas eléctricos	PREDICTIVA	análisis de vibraciones					X							1	1	PREDICTIVO	
		ventilación deficiente	INSPECCION	inspeccion visual, termografía			X									1	0,5	INSPECCION	
		alto consumo	INSPECCION	toma de lectura de los consumos			X									1	0,5	INSPECCION	
51	Motor	suciedad	INSPECCION	inspeccion visual				X								1	0,5	INSPECCION	
		Soltura mecánica	ELECTRICA	Ajuste de los componentes				X								1	1	PREVENTIVO	
		detenore de chagas	ELECTRICA	Inspeccion visual del estado de las chupas										X		1	1	INSPECCION	
		Soltura mecánica	INSPECCION	Inspeccion visual				X								1	0,5	INSPECCION	
		desalineación	PREDICTIVA	análisis de vibraciones							X					1	2	PREDICTIVO	
		desbalanceo	PREDICTIVA	análisis de vibraciones				X								1	1	PREDICTIVO	
52	Yalador	problemas eléctricos	INSPECCION	análisis de vibraciones, toma de lectura												1	1	PREDICTIVO	
		problemas en rodamientos	PREDICTIVA	análisis de vibraciones				X								1	1	PREDICTIVO	
		bajo aislamiento	ELECTRICA	refrescar aislamiento										X		2	24	PREVENTIVO	
		alto consumo	INSPECCION	seguimiento a los consumos				X								1	0,5	INSPECCION	
		fisuras en la estructura	INSPECCION	inspeccion visual				X								1	0,5	INSPECCION	
		problema con las tarjetas electronicas	ELECTRICA	prueba electricas de funcionamiento										X		2	2	PREVENTIVO	
52	Yalador	Soltura mecánica	ELECTRICA	Ajuste de los componentes				X							1	1	PREVENTIVO		
		problemas eléctricos	ELECTRICA	prueba electricas de funcionamiento									X		2	2	PREVENTIVO		
		ventilación deficiente	INSPECCION	inspeccion visual, termografía										X		1	0,5	INSPECCION	
		alto consumo	INSPECCION	toma de lectura de los consumos				X								1	0,5	INSPECCION	
		suciedad	INSPECCION	inspeccion visual				X								1	0,5	INSPECCION	
		problema con las tarjetas electronicas	ELECTRICA	prueba electricas de funcionamiento										X		2	2	PREVENTIVO	

Fuente: El Autor

El plan de mantenimiento se puede resumir en las figuras siguientes, la figura 33 muestra el detalle del costo de la inspección anual propuesta en este plan de equipo crítico. La figura 34 muestra el detalle del costo de las tareas preventivas propuestas en este plan, y la figura 35 muestra el detalle del costo de mano de obra sin costo de la inversión inicial del equipo de vibraciones o tomografía, teniendo en cuenta que la compañía ya cuenta con profesionales y equipos entrenados para estas tareas.

Figura 33. Detalle del costo de la inspección anual propuesta.

Tareas de Inspeccion					
	Frecuencia				Total Tareas
	1S	1M	3M	1A	
# Tareas	5	28	4	2	39
					Total Horas
Duracion H	2,5	14	2	2	20,5
Horas Empleadas durante Año	120	168	8	2	Total Horas Año
					298
Valor HH Inspector	\$ 20.000,00		Valor tareas de Inspeccion x Año		
			\$ 5.960.000,00		

Figura 34. Detalle del costo de tareas preventivas anuales propuestas

Tareas Preventivas						
	Frecuencia					Total Tareas
	1M	2M	3M	6M	1A	
# Tareas	12	1	11	13	14	51
						Total Horas
Duracion H	7	1	12	29	100	149
Horas Empleadas durante Año	84	6	48	58	100	Total Horas Año
						196
Valor HH Inspector	\$ 20.000,00		Valor tareas de Inspeccion x Año			
			\$ 3.920.000,00			

Figura 35. Detalle del costo mano de obra tareas predictivas.

Tareas Predictivas						
	Frecuencia					Total Tareas
	1M	2M	3M	6M	1A	
# Tareas	17	2			1	20
						Total Horas
Duracion H	12	2			6	20
Horas Empleadas durante Año	144	12	0	0	6	Total Horas Año
						156
Valor HH Inspector	\$ 20.000,00		Valor tareas de Inspeccion x Año			
			\$ 3.120.000,00			

5.0. CONCLUSIONES.

- Resulta fácil identificar que existen fallas registradas en los archivos y no se ha generado aún ninguna actividad que evitar la recurrencia de la misma, crear un plan de mantenimiento siempre será una manera de buscar aumentar la disponibilidad de los activos, el SRCM resulta practico para iniciar en una planta tan grande donde no existe ningún plan y utilizar la metodología RCM original resultara más dispendioso.
- Resulta evidente la dificultad para registrar las fallas en el CMMS debido a la estructura compleja que se tiene planteada actualmente, la estructura propuesta resulta más amigable para reportar las condiciones al activo que falla.
- Al definir claramente los sistemas y subsistemas, se entrega la información clara para ser utilizada al momento de los cargues de los planes al CMMS, se pueden dividir sin perder la efectividad del plan propuesto, así mismo al definir las frecuencias, responsables y duración se cuenta con toda la informacion necesaria.
- El plan piloto para equipo critico eléctrico, resulta pequeño al ser comparado con la necesidad del plan para todo el laminador, pero la metodología permite avanzar rápidamente con el fin de poder evaluar y adicionar y quitar según sea la necesidad, lo que sí es claro, es que se debe promover la creación de estos planes con pequeños grupos de trabajo sin que se vea afectada la operación regular de la planta si se quiere tener resultados diferentes.
- La implementación de técnicas de tipo predictivo resulta muy fácil y económico, teniendo en cuenta que la compañía ya cuenta con equipos y especialistas en temas como vibración, termografía y análisis de aceites, solo bastara con verificar la carga de trabajo y validar si se requiere apoyo o no.

BIBLIOGRAFIA

ANTONIA TAPIA. Mantenimiento en Instalaciones eléctricas [en línea]. <<https://constructorelectrico.com/mantenimiento-en-instalaciones-electricas/>> [citado en 28 de febrero de 2016]

BERNAL, Pablo. Modelo Estratégico de Mantenimiento para las Subestaciones y Redes Eléctricas de Media Tensión de una Planta Siderúrgica Basado en la Metodología RCM. Trabajo de grado para especialista en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2014. 152 p.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICA Y DE MATERIALES. Vibraciones en Maquinas. Mantenimiento Predictivo [en línea]. <http://www.imem.unavarra.es/EMyV/pdfdoc/vib/vib_predictivo.pdf> [citado en 07 de marzo de 2016]

FRANCISCO SOLER PRECIADO. Mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo [en línea]. <<http://www.atmosferis.com/mantenimiento-correctivo-preventivo-y-predictivo/>> [citado en 3 de febrero de 2016]

MEGGER. Evaluación de Estado de Equipo de Subestación [en línea]. <http://www.artecing.com.uy/pdf/guias_megger/Equipos%20de%20subestaciones.pdf> [citado en 05 de marzo de 2016]

MESA, Dario H. ORTIZ, Yesid. Y PINZON, Manuel. La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. EN: Scientia Et Technica. Mayo, 2006. Vol. 12, no. 30, p. 155-160.

SERVICIOS SYSE. Servicio a transformadores [en línea]. <<http://www.syse.com.mx/Prueba-de-Respuesta-a-la-Frecuencia.html>> [citado en 01 de marzo de 2016]

SINAIS INGENIERIA DE MANTENIMIENTO. Mantenimiento preventivo. [En línea].
<http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/intro/mantenimiento_preventivo.html> [citado en 4 de febrero de 2016]

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 8

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P.262

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P.265

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2 ed. EEUU: Industrial Press Inc, 1992. P. 283.

TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 1

TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 1

TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 2

TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 2

TAVARES, Lourival. Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, p. 4

ANEXOS

Anexo A. Formato SRCM Sistema de cargue de Palanquilla.

SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	Nº	ACTIVO ASOCIADO	CODIGO ISO 14224 DE LA FALLA	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA					
MEZAR DE CARGUE	EMPUJAR HACIA ADELANTE UN MAXIMO DE 5 PALANQUILLAS DE 5 PALANQUILLAS CADA PAQUETE. DETENERSE CADA VEZ QUE UNA PALANQUILLA ALCANCE LA POSICION DE DESCARGA.	NO EMPUJAR LOS PAQUETES DE 5 PALANQUILLAS HACIA ADELANTE, NO DETENERSE CUANDO UNA PALANQUILLA LLEGA A LA POSICION DE DESCARGA.	1	Sensor posicion adelante de la seccion 1	UST	Paraflexión	no se detiene la mesa en la posición requerida	no se detiene la mesa en la posición requerida					
					DOP	Operación retardada	no se detiene la mesa en la posición requerida	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción					
					BRD	Catadura	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción					
					RHD	Hebrajeada	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción	no se detiene la mesa en la posición requerida					
					STD	Deficiencia estructural	no se detiene la mesa en la posición requerida	no se detiene la mesa en la posición requerida					
					2	Sensor posicion adelante de la seccion 2	UST	Paraflexión	no se detiene la mesa en la posición requerida	no se detiene la mesa en la posición requerida			
							DOP	Operación retardada	no se detiene la mesa en la posición requerida	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción			
							BRD	Catadura	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción			
							RHD	Hebrajeada	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción	no se detiene la mesa en la posición requerida			
							STD	Deficiencia estructural	no se detiene la mesa en la posición requerida	no se detiene la mesa en la posición requerida			
					3	Sensor posicion atras de la seccion 1	UST	Paraflexión	no se detiene la mesa en la posición requerida	no se detiene la mesa en la posición requerida			
							DOP	Operación retardada	no se detiene la mesa en la posición requerida	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción			
							BRD	Catadura	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción			
RHD	Hebrajeada	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción	no se detiene la mesa en la posición requerida										
STD	Deficiencia estructural	no se detiene la mesa en la posición requerida	no se detiene la mesa en la posición requerida										
4	Sensor posicion atras de la seccion 2	UST	Paraflexión	no se detiene la mesa en la posición requerida	no se detiene la mesa en la posición requerida								
		DOP	Operación retardada	no se detiene la mesa en la posición requerida	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción								
		BRD	Catadura	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción								
		RHD	Hebrajeada	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción	no se detiene la mesa en la posición requerida								
		STD	Deficiencia estructural	no se detiene la mesa en la posición requerida	no se detiene la mesa en la posición requerida								
DISPOSITIVO DE TRASLADAR DE PALANQUILLA	TOMAR UNA A UNA LAS PALANQUILLAS QUE LLEGAN A LA POSICION DE DESCARGA EN LA MESA, PARA TRASLADARLAS HASTA EL CAMINO DE RODILLOS 1 CUANDO ESTE VACIO	TOMAR UN NUMERO DIFERENTE DE 1 PALANQUILLA, NO TRASLADARLA HASTA EL CAMINO DE RODILLOS 1, DEJARLA CAER EN EL TRAYECTO	5	Sensor de Presencia de barra	UST	Paraflexión	no se detiene la mesa en la posición requerida	no se detiene la mesa en la posición requerida					
					DOP	Operación retardada	no se detiene la mesa en la posición requerida	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción					
					BRD	Catadura	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción					
					RHD	Hebrajeada	imposibilita la operación de la mesa, parada corta de producción	no se detiene la mesa en la posición requerida					
					STD	Deficiencia estructural	no se detiene la mesa en la posición requerida	no se detiene la mesa en la posición requerida					
					6	Electrovalvula Bidireccional	FTF	Falla de accionar cuando se requiere	No se mueve la mesa, se queda el cargue del horno, parada de producción, perdida de acido	distorsión del equipo			
							VIB	Vibración	Distorsión del equipo	Distorsión del equipo			
							ELU	Fenómeno de fluida de azarmita	Dañar al medio ambiente, perdida de acido	Distorsión del equipo			
							LCO	Frenado en posición cerrada	avance o retroceso de la mesa sin orden, caída de barras al camino de rodillos	Distorsión del equipo			
							PLU	Obstrucción	no se mueve la mesa, se queda el cargue del horno, parada de producción	Distorsión del equipo			
					CARGUE DE PALANQUILLA	TOMAR UNA A UNA LAS PALANQUILLAS QUE LLEGAN A LA POSICION DE DESCARGA EN LA MESA, PARA TRASLADARLAS HASTA EL CAMINO DE RODILLOS 1 CUANDO ESTE VACIO	TOMAR UN NUMERO DIFERENTE DE 1 PALANQUILLA, NO TRASLADARLA HASTA EL CAMINO DE RODILLOS 1, DEJARLA CAER EN EL TRAYECTO	7	Sensores de posicion arriba	UST	Paraflexión	No confirma posición arriba, no termina ciclo de operación	No posiciona en el lugar adecuado, caída de barras
										DOP	Operación retardada	No confirma posición arriba, no termina ciclo de operación	No posiciona en el lugar adecuado, caída de barras
										BRD	Catadura	No permite completar el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de producción	No posiciona en el lugar adecuado, caída de barras
RHD	Hebrajeada	No permite completar el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de producción	No posiciona en el lugar adecuado, caída de barras										
STD	Deficiencia estructural	No posiciona en el lugar adecuado, caída de barras	No posiciona en el lugar adecuado, caída de barras										
8	Sensores de posicion abajo	UST	Paraflexión	NO confirma posición abajo, no termina ciclo de operación						NO posiciona en el lugar adecuado, decaete del equipo			
		DOP	Operación retardada	NO confirma posición abajo, no termina ciclo de operación						NO posiciona en el lugar adecuado, decaete del equipo			
		BRD	Catadura	NO permite completar el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de producción						NO posiciona en el lugar adecuado, decaete del equipo			
		RHD	Hebrajeada	NO permite completar el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de producción						NO posiciona en el lugar adecuado, decaete del equipo			
		STD	Deficiencia estructural	NO posiciona en el lugar adecuado, decaete del equipo						NO posiciona en el lugar adecuado, decaete del equipo			
9	Sensores de posicion atrás	UST	Paraflexión	NO confirma posición de atrás, no inicia ciclo de operación						NO posiciona en el lugar adecuado			
		DOP	Operación retardada	NO confirma posición de atrás, no inicia ciclo de operación						NO posiciona en el lugar adecuado			
		BRD	Catadura	NO permite completar el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de producción						NO posiciona en el lugar adecuado			
		RHD	Hebrajeada	NO permite completar el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de producción	NO posiciona en el lugar adecuado								
		STD	Deficiencia estructural	NO posiciona en el lugar adecuado	NO posiciona en el lugar adecuado								
10	Sensores de posicion medio	UST	Paraflexión	No confirma la posición correcta, caída de barras	No confirma la posición correcta, caída de barras								
		DOP	Operación retardada	No confirma la posición correcta, caída de barras	No confirma la posición correcta, caída de barras								
		BRD	Catadura	NO permite completar el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de producción	NO confirma la posición correcta, caída de barras								
		RHD	Hebrajeada	NO permite completar el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de producción	NO confirma la posición correcta, caída de barras								
		STD	Deficiencia estructural	No confirma la posición correcta, caída de barras	No confirma la posición correcta, caída de barras								
11	Sensores de posicion adelante	UST	Paraflexión	No confirma la posición correcta, caída de barras	No confirma la posición correcta, caída de barras								
		DOP	Operación retardada	No confirma la posición correcta, caída de barras	No confirma la posición correcta, caída de barras								
		BRD	Catadura	NO permite completar el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de producción	NO confirma la posición correcta, caída de barras								
		RHD	Hebrajeada	NO permite completar el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de producción	NO confirma la posición correcta, caída de barras								
		STD	Deficiencia estructural	No confirma la posición correcta, caída de barras	No confirma la posición correcta, caída de barras								
12	Electrovalvula Arriba Abajo	FTF	Falla de accionar cuando se requiere	NO se mueven los posicionadores	Distorsión del equipo								
		VIB	Vibración	Distorsión del equipo	Distorsión del equipo								
		ELU	Fenómeno de fluida de azarmita	Dañar al medio ambiente, perdida de acido	Distorsión del equipo								
		LCO	Frenado en posición cerrada	Suba o baja los posicionadores perdidos de la posición, demora en reiniciar el ciclo de operación	Distorsión del equipo								
		PLU	Obstrucción	NO se mueven los posicionadores	Distorsión del equipo								
13	Electrovalvula adelante atrás	FTF	Falla de accionar cuando se requiere	NO se mueven los posicionadores	Distorsión del equipo								
		VIB	Vibración	Distorsión del equipo	Distorsión del equipo								
		ELU	Fenómeno de fluida de azarmita	Dañar al medio ambiente, perdida de acido	Distorsión del equipo								
		LCO	Frenado en posición cerrada	Suba o baja los posicionadores perdidos de la posición, demora en reiniciar el ciclo de operación	Distorsión del equipo								
		PLU	Obstrucción	NO se mueven los posicionadores	Distorsión del equipo								

SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	Nº	ACTIVO ASOCIADO	CODIGO ISO 14224 DE LA FALLA	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA		
CAMINO DE RODILLOS	TRASLADAR LA S PALANQUILLAS DESDE LA SALIDA DE LA MESA DE CARGA HASTA LA ENTRADA DEL HORNO DE CALENTAMIENTO	NO TRASLADAR LAS PALANQUILLAS O HACERLO MUY LENTO DESDE LA SALIDA DE LA MESA DE CARGA HASTA LA ENTRADA DEL HORNO DE CALENTAMIENTO	14	Motor	FTF	Falla de accionar cuando se requiere	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo		
					UST	Paraflexión	parada de tracción, problema al ingresar la barra al horno, parada corta de producción	parada de tracción, problema al ingresar la barra al horno, parada corta de producción		
					BRD	Catadura	no ingresa la barra al horno, parada de producción	no ingresa la barra al horno, parada de producción		
					LCO	Energía de alimentación	distorsión del equipo	distorsión del equipo		
					VIB	Vibración	distorsión del equipo	distorsión del equipo		
					RHD	Resaca	distorsión del equipo	distorsión del equipo		
					ONE	Sobrecalentamiento	distorsión del equipo	distorsión del equipo		
					CEP	Problemas mecánicos de operación	distorsión del equipo	distorsión del equipo		
					15	Cableado	BRD	Catadura	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo
							VIB	Vibración	distorsión del equipo	distorsión del equipo
							ONE	Sobrecalentamiento	distorsión del equipo	distorsión del equipo
							STD	Deficiencia estructural	distorsión del equipo	distorsión del equipo
							FTF	Falla de accionar cuando se requiere	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo
16	Variador	FTF	Falla de accionar cuando se requiere	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo					
		UST	Paraflexión	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo					
		RHD	Resaca	distorsión del motor	distorsión del motor					
		LCO	Energía de alimentación	distorsión del motor	distorsión del motor					
		VIB	Vibración	distorsión del motor	distorsión del motor					
17	Fotocélula	BRD	Catadura	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo	no ingresa la barra al horno, parada de producción mientras se recupera el ciclo					
		VIB	Vibración	distorsión del equipo	distorsión del equipo					
		ONE	Sobrecalentamiento	distorsión del equipo	distorsión del equipo					
		STD	Deficiencia estructural	distorsión del equipo	distorsión del equipo					
		DOP	Operación retardada	no se puede cargar el horno automáticamente	no se puede cargar el horno automáticamente					
EMPUJAR DE PALANQUILLA	EMPUJAR BARRA A BARRA DENTRO DEL HORNO DE EL CAMINO DE RODILLOS	NO EMPUJAR COMPLETAMENTE CADA BARRA DENTRO DEL HORNO	18	Sensor Posicion Adelante	DOP	Operación retardada	distorsión del equipo	distorsión del equipo		
					BRD	Catadura	no termina el ciclo automatico, demora en el cargue del horno	no termina el ciclo automatico, demora en el cargue del horno		
					VIB	Vibración	distorsión del equipo	distorsión del equipo		
					RHD	Hebrajeada	no funciona el ciclo de cargue, demora en el cargue del horno	distorsión del equipo		
					STD	Deficiencia estructural	distorsión del equipo	distorsión del equipo		
					19	Sensor Posicion Atrás	DOP	Operación retardada	distorsión del equipo	distorsión del equipo
							BRD	Catadura	no termina el ciclo automatico, demora en el cargue del horno	no termina el ciclo automatico, demora en el cargue del horno
							VIB	Vibración	distorsión del equipo	distorsión del equipo
							RHD	Hebrajeada	no funciona el ciclo de cargue, demora en el cargue del horno	distorsión del equipo
							STD	Deficiencia estructural	distorsión del equipo	distorsión del equipo
					20	Electrovalvula Adelante atrás	FTF	Falla de accionar cuando se requiere	no es posible realizar el cargue de la palanquilla, demora en el cargue	no es posible realizar el cargue de la palanquilla, demora en el cargue
							VIB	Vibración	distorsión del equipo	distorsión del equipo
							ELU	Fenómeno de fluida de azarmita	Dañar al medio ambiente, perdida de acido	Distorsión del equipo
LCO	Frenado en posición cerrada	no se detiene la mesa adelante la empulsadora, no inicia el ciclo automatico de cargue	no es posible realizar el cargue de la palanquilla, demora en el cargue							
PLU	Obstrucción	no es posible realizar el cargue de la palanquilla, demora en el cargue	no es posible realizar el cargue de la palanquilla, demora en el cargue							
21	Electrovalvula Puerta de cargue	FTF	Falla de accionar cuando se requiere	no es posible realizar el cargue de la palanquilla, demora en el cargue	no es posible realizar el cargue de la palanquilla, demora en el cargue					
		VIB	Vibración	distorsión del equipo	distorsión del equipo					
		ELU	Fenómeno de fluida de azarmita	Dañar al medio ambiente, perdida de acido	Distorsión del equipo					
		LCO	Frenado en posición cerrada	parada la barra en la puerta de cargue, parada de producción	parada la barra en la puerta de cargue, parada de producción					
		PLU	Obstrucción	no es posible realizar el cargue de la palanquilla, demora en el cargue	no es posible realizar el cargue de la palanquilla, demora en el cargue					

Anexo B. Formato SRCM Sistema Movimientos del horno.

SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	Nº	ACTIVO ASOCIADO	CODIGO DE FALLA	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
MOVIMIENTOS DEL HORNO	SOLETRAMOVIL	REALIZAR MOVIMIENTOS INTERCALADOS ARRIBA ABAJOS, ADELANTE ATRÁS, CON EL FIN DE LOGRAR EL AVANCE DE LAS PALANQUILLAS DENTRO DEL HORNO,	NO REALIZAR LOS MOVIMIENTOS NECESARIOS PARA LOGRAR EL AVANCE DE LAS PALANQUILLAS DENTRO DEL HORNO	22	Sensor Posición vertical de la solera	DOP	Operación retardada	No posiciones correctamente la solera
						BRD	Calentura	no es posible operar el cargue en automatico del horno
						ERD	Saltó de carga a flutuante.	no es posible operar el cargue en automatico del horno
						VIB	Vibración	detentoreo del equipo
						ROD	Mal funcionamiento	no es posible operar el cargue en automatico del horno
						STD	Dificultad estructural	detentoreo del equipo
	23	Sensor posición horizontal de la solera	DOP	Operación retardada	No posiciones correctamente la solera			
			BRD	Calentura	no es posible operar el cargue en automatico del horno			
			ERD	Saltó de carga a flutuante.	no es posible operar el cargue en automatico del horno			
			VIB	Vibración	detentoreo del equipo			
			ROD	Mal funcionamiento	no es posible operar el cargue en automatico del horno			
			STD	Dificultad estructural	detentoreo del equipo			
24	Electrovalvula Proporcional de movimiento vertical de la solera	FTT	Falta de accionamiento de la solera	no realiza movimiento la solera parada de operación				
		BRD	Calentura	no realiza movimiento la solera parada de operación				
		VIB	Vibración	detentoreo del equipo				
		ELU	Fugas de fluido lubricante	difícil al medio ambiente, perdida de aceite				
		LCO	Fugas en posición cerrada	movimiento no deseado de la solera, demora en la operación				
		PLU	Obstrucción	no realiza movimiento la solera parada de operación				
MOVIMIENTOS DEL HORNO	25	Electrovalvula Proporcional de movimiento horizontal de la solera	FTT	Falta de accionamiento de la solera	no realiza movimiento la solera parada de operación			
			BRD	Calentura	no realiza movimiento la solera parada de operación			
			VIB	Vibración	detentoreo del equipo			
			ELU	Fugas de fluido lubricante	difícil al medio ambiente, perdida de aceite			
			LCO	Fugas en posición cerrada	movimiento no deseado de la solera, demora en la operación			
			PLU	Obstrucción	no realiza movimiento la solera parada de operación			
	26	Sensor de posición adelantado del palpador	DOP	Operación retardada	demora al iniciar el ciclo automatico de desahone			
			BRD	Calentura	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación			
			ERD	Saltó de carga a flutuante.	demora al iniciar el ciclo automatico de desahone			
			VIB	Vibración	detentoreo del equipo			
			ROD	Mal funcionamiento	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación			
			STD	Dificultad estructural	detentoreo del equipo			
27	Sensor de posición atrás del palpador	DOP	Operación retardada	demora al iniciar el ciclo automatico de desahone				
		BRD	Calentura	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación				
		ERD	Saltó de carga a flutuante.	demora al iniciar el ciclo automatico de desahone				
		VIB	Vibración	detentoreo del equipo				
		ROD	Mal funcionamiento	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación				
		STD	Dificultad estructural	detentoreo del equipo				
28	Sensor de posición horizontal maquina de desahone	DOP	Operación retardada	fallas en la ubicación de la palanquilla, caída de barras, demora en la operación				
		BRD	Calentura	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación				
		ERD	Saltó de carga a flutuante.	demora al iniciar el ciclo automatico de desahone				
		VIB	Vibración	detentoreo del equipo				
		ROD	Mal funcionamiento	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación				
		STD	Dificultad estructural	detentoreo del equipo				
29	Sensor de posición arriba maquina de desahone	DOP	Operación retardada	demora al iniciar el ciclo automatico de desahone				
		BRD	Calentura	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación				
		ERD	Saltó de carga a flutuante.	demora al iniciar el ciclo automatico de desahone				
		VIB	Vibración	detentoreo del equipo				
		ROD	Mal funcionamiento	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación				
		STD	Dificultad estructural	detentoreo del equipo				
30	Sensor de posición bajo de la maquina de desahone	DOP	Operación retardada	demora al iniciar el ciclo automatico de desahone				
		BRD	Calentura	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación				
		ERD	Saltó de carga a flutuante.	demora al iniciar el ciclo automatico de desahone				
		VIB	Vibración	detentoreo del equipo				
		ROD	Mal funcionamiento	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación				
		STD	Dificultad estructural	detentoreo del equipo				
31	Electrovalvula adelantado atrás del palpador	FTT	Falta de accionamiento de la palanquilla	demora en iniciar el ciclo automatico de descargue, demora en la operación				
		BRD	Calentura	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación				
		VIB	Vibración	detentoreo del equipo				
		ELU	Fugas de fluido lubricante	perdida de un compuesto				
		LCO	Fugas en posición cerrada	perdida de la posición del palpador, demora al iniciar el ciclo automatico de descargue				
		PLU	Obstrucción	no es posible operar el descargue en automatico del horno demora en la operación				
32	Electrovalvula adelantado atrás maquina de desahone	FTT	Falta de accionamiento de la palanquilla	demora en iniciar el ciclo automatico de descargue, demora en la operación				
		BRD	Calentura	no es posible realizar el descargue del horno, demora en la operación				
		VIB	Vibración	detentoreo del equipo				
		ELU	Fugas de fluido lubricante	difícil al medio ambiente, perdida de aceite				
		LCO	Fugas en posición cerrada	perdida de la posición de reposo de la maquina, demora al iniciar el ciclo automatico				
		PLU	Obstrucción	no es posible realizar el descargue del horno, demora en la operación				
33	Electrovalvula arriba abajo maquina de desahone	FTT	Falta de accionamiento de la palanquilla	demora en iniciar el ciclo automatico de descargue, demora en la operación				
		BRD	Calentura	no es posible realizar el descargue del horno, demora en la operación				
		VIB	Vibración	detentoreo del equipo				
		ELU	Fugas de fluido lubricante	difícil al medio ambiente, perdida de aceite				
		LCO	Fugas en posición cerrada	perdida de la posición de reposo de la maquina, demora al iniciar el ciclo automatico				
		PLU	Obstrucción	no es posible realizar el descargue del horno, demora en la operación				
34	Electrovalvula puerta de desahone	FTT	Falta de accionamiento de la palanquilla	demora en iniciar el ciclo automatico de descargue, demora en la operación				
		BRD	Calentura	no es posible abrir la puerta de descargue, demora en la operación				
		VIB	Vibración	detentoreo del equipo				
		ELU	Fugas de fluido lubricante	perdida de un compuesto				
		LCO	Fugas en posición cerrada	movimiento no deseado de la puerta de descargue				
		PLU	Obstrucción	no es posible abrir la puerta de descargue, demora en la operación				

Anexo C. Formato SRCM Sistema Combustión Horno.

SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	Nº	ACTIVO ASOCIADO	CODIGO ISO 14224 DE LA FALLA	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	
COMBUSTION HORNO	AIRE DE COMBUSTION	PROPORCIONAR LA CANTIDAD DE AIRE NECESARIA PARA LA COMBUSTION DEL HORNO MANTENIENDO LA PRESION ADECUADA PARA LA COMBUSTION DE LA COMBUSTION DEL HORNO	NO PROPORCIONAR LA CANTIDAD DE AIRE NECESARIO O NO MANTENER LA PRESION ADECUADA PARA LA COMBUSTION DEL HORNO	35	Motor	FTS	Falla de arranque combustible requerido	demora al iniciar el horno	
						STP	Falla de parada combustible requerido	sin efectos significativos	
						FTS	Falla de arranque combustible requerido	debilita la combustión del horno, parada de operación hasta reiniciar y calentar	
						BRD	Calentamiento	debilita la combustión del horno, parada prolongada de operación hasta reiniciar y calentar	
						LEO	Fuente de energía eléctrica	no es posible alcanzar la presión del aire cuando el horno está en plena producción por falta de ritmo	
						ERO	Falla de salida fluctuante	fluctuación en la presión del aire de combustión, combustión inapropiada	
						VIB	Vibración	deterioro del equipo	
						WIP	Rotura	deterioro del equipo	
						OHF	Sobrecalentamiento	deterioro del equipo	
						STD	Deficiencia estructural	deterioro del equipo	
						FTS	Falla de arranque combustible requerido	demora al iniciar el horno	
						STP	Falla de parada combustible requerido	sin efectos significativos	
						FTS	Falla de arranque combustible requerido	debilita la combustión del horno, parada de operación hasta reiniciar y calentar	
						BRD	Calentamiento	debilita la combustión del horno, parada prolongada de operación hasta reiniciar y calentar	
						LEO	Fuente de energía eléctrica	no es posible alcanzar la presión del aire cuando el horno está en plena producción por falta de ritmo	
						ERO	Falla de salida fluctuante	fluctuación en la presión del aire de combustión, combustión inapropiada	
						VIB	Vibración	deterioro del equipo	
						WIP	Rotura	deterioro del equipo	
						OHF	Sobrecalentamiento	deterioro del equipo	
						STD	Deficiencia estructural	deterioro del equipo	
FTF	Falla de actuación combustible requerido	fluctuación en la presión del aire de combustión, combustión inapropiada							
OWD	Operación automática	fluctuación en la presión del aire de combustión, combustión inapropiada							
DDP	Operación retardada	fluctuación en la presión del aire de combustión, combustión inapropiada							
BRD	Calentamiento	presión inadecuada del aire de combustión, apagado del horno, demora de producción							
ERO	Falla de salida fluctuante	fluctuación en la presión del aire de combustión, combustión inapropiada							
LEO	Fuente de energía eléctrica	presión inadecuada del aire de combustión, apagado del horno, demora de producción							
DDP	Operación retardada	fluctuación en la presión del aire de combustión, combustión inapropiada							
36	Arrancador suave								
37	Posicionador sección del ventilador								
38	Transmisor de temperatura								
39	Transmisor de presión								
40	Medidor de flujo de aire zona 1								
41	Medidor de flujo de aire zona 2								
42	posicionador valvula de flujo de aire zona 1								
43	posicionador valvula de flujo de aire zona 2								

SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	Nº	ACTIVO ASOCIADO	CODIGO ISO 14224 DE LA FALLA	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA					
COMBUSTION HORNO	GAS NATURAL	PROPORCIONAR LA CANTIDAD DE GAS NATURAL NECESARIA PARA LA COMBUSTION DEL HORNO MANTENIENDO LA PRESION ADECUADA PARA LA COMBUSTION DEL HORNO	NO PROPORCIONAR LA CANTIDAD DE GAS NATURAL NECESARIO O NO MANTENER LA PRESION ADECUADA PARA LA COMBUSTION DEL HORNO	44	Electrovalvula valvula de seguridad de entrada de gas	FTF	Falla de actuación combustible requerido	Demora al iniciar el horno					
						OWD	Operación automática	deterioro del equipo					
						BRD	Calentamiento	deterioro del equipo					
						LEO	Fuente de energía eléctrica	demora al iniciar el horno					
						FTS	Falla de arranque combustible requerido	demora al iniciar el horno					
						DDP	Operación retardada	calentamiento de los flujos de gas, combustión inadecuada					
						ERO	Falla de salida fluctuante	calentamiento de los flujos de gas, combustión inadecuada					
						VIB	Vibración	deterioro del equipo					
						WIP	Rotura	deterioro del equipo					
						OHF	Sobrecalentamiento	deterioro del equipo					
						STD	Deficiencia estructural	deterioro del equipo					
						BRD	Calentamiento	calentamiento de los flujos de gas, combustión inadecuada					
						ERO	Falla de salida fluctuante	calentamiento de los flujos de gas, combustión inadecuada					
						VIB	Vibración	deterioro del equipo					
						WIP	Rotura	deterioro del equipo					
						OHF	Sobrecalentamiento	deterioro del equipo					
						STD	Deficiencia estructural	deterioro del equipo					
						45	Transmisor de presión de gas						
						46	Transmisor de temperatura de gas						
						47	Transmisor de flujo de gas zona 1						
48	Transmisor de flujo de gas zona 2												
49	posicionador valvula de flujo de gas zona 1												
50	posicionador valvula de flujo de gas zona 2												
EXTRACCION HORNO		GARANTIZAR LA CORRECTA EVACUACION DE LOS GASES DE COMBUSTION MANTENIENDO LA PRESION ADECUADA DENTRO DE LA BÓVEDA DEL HORNO	NO GARANTIZAR LA CORRECTA EVACUACION DE LOS GASES DE COMBUSTION Y/O NO MANTENER LA PRESION ADECUADA DE LA BÓVEDA DEL HORNO	51	Motor	FTS	Falla de arranque combustible requerido	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						STP	Falla de parada combustible requerido	demora al parar el horno					
						FTS	Falla de arranque combustible requerido	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						BRD	Calentamiento	demora al parar el horno					
						LEO	Fuente de energía eléctrica	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						ERO	Falla de salida fluctuante	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						VIB	Vibración	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						WIP	Rotura	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						OHF	Sobrecalentamiento	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						STD	Deficiencia estructural	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						FTS	Falla de arranque combustible requerido	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						STP	Falla de parada combustible requerido	demora al parar el horno					
						FTS	Falla de arranque combustible requerido	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						BRD	Calentamiento	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						LEO	Fuente de energía eléctrica	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						ERO	Falla de salida fluctuante	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						VIB	Vibración	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						WIP	Rotura	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						OHF	Sobrecalentamiento	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
						STD	Deficiencia estructural	demora al iniciar el horno, sobrecalentamiento mala combustión.					
52	Ventilador												
53	Posicionador valvula de la góndola de extracción de gas												

Anexo D. Formato SRCM Sistema Subestación.

SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	Nº	ACTIVO ASOCIADO	000060 150 14224 DE LA FALLA	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
SUBESTACION	CUARTO DE CONTROL	CONTROLAR LOS ACCIONAMIENTOS DE LA COMBUSTION Y LOS MOVIMIENTOS DE HORNO	NO CONTROLAR NINGUNO O ALGUNO DE LOS ACCIONAMIENTOS DE LA COMBUSTION O LOS MOVIMIENTOS DEL HORNO	56	Tablero de control Aire gas y extracción de humos	FTS	Falla de arranque quemador reactiva	no es posible, seropir el horno
						STP	Falla de parada quemador reactiva	combustion inadecuada
						FTF	Falla de extinción quemador reactiva	combustion inadecuada
						UST	Parada supradica	spagada del horno, perdida de produccion
						OWD	Operación extinción	combustion inadecuada
						DOP	Operación parada	combustion inadecuada
						ROD	Malayralia	spagada del horno, perdida de produccion
						OHE	Sobrecalentamiento	spagada del horno, perdida de produccion
						RIH	Lectura anormal del instrumento	combustion inadecuada
						STD	Dificultad estructural	deterioro del equipo
						SPS	Falagurada	spagada del horno, perdida de produccion
						FTS	Falla de arranque quemador reactiva	no es posible, realizar los ciclos de carga y descarga, perdida de produccion
	STP	Falla de parada quemador reactiva	ciclos inadecuada de carga y descarga, perdida de produccion					
	FTF	Falla de extinción quemador reactiva	ciclos inadecuada de carga y descarga, perdida de produccion					
	UST	Parada supradica	ciclos inadecuada de carga y descarga, perdida de produccion					
	OWD	Operación extinción	ciclos inadecuada de carga y descarga, perdida de produccion					
	DOP	Operación parada	ciclos inadecuada de carga y descarga, perdida de produccion					
	ROD	Malayralia	no es posible, realizar los ciclos de carga y descarga, perdida de produccion					
	OHE	Sobrecalentamiento	deterioro del equipo					
	RIH	Lectura anormal del instrumento	ciclos inadecuada de carga y descarga, perdida de produccion					
	STD	Dificultad estructural	deterioro del equipo					
	SPS	Falagurada	ciclos inadecuada de carga y descarga, perdida de produccion					
	CUARTO TRANSFORMADORES	BAJAR EL NIVEL DE TENSION DE 10.8KV A 440VAC PARA ALIMENTAR EL CUARTO DE CONTROL Y LOS CUARTOS DE CONTROL DE MOTORES	NO BAJAR EL NIVEL DE TENSION A 440VAC	50	Transformador 1	FTS	Falla de arranque quemador reactiva	no es posible, iniciar el horno, perdida de produccion
						RIH	Calentamiento	no es posible, iniciar el horno, perdida de produccion
HIO						Energía de salida alta	deterioro de todos los equipos	
LOD						Energía de salida baja	deterioro de todos los equipos	
RIE						Malayralia	deterioro del equipo	
ROD						Malayralia	no es posible, iniciar el horno, perdida de produccion	
OHE		Sobrecalentamiento	deterioro del aislamiento					
STD		Dificultad estructural	deterioro del equipo					
59		Tablero de distribución	FTS	Falla de arranque quemador reactiva	no es posible, iniciar el horno, perdida de produccion			
			STP	Falla de parada quemador reactiva	no es posible, realizar intervenciones			
			FTF	Falla de extinción quemador reactiva	no es posible, iniciar el horno, perdida de produccion			
			UST	Parada supradica	perdida de produccion			
	OWD		Operación extinción	ciclos inadecuada de carga y descarga, perdida de produccion				
	DOP		Operación parada	ciclos inadecuada de carga y descarga, perdida de produccion				
ROD	Malayralia	no es posible, iniciar el horno, perdida de produccion						
OHE	Sobrecalentamiento	deterioro del equipo						
RIH	Lectura anormal del instrumento	ciclos inadecuada de carga y descarga, perdida de produccion						
STD	Dificultad estructural	deterioro del equipo						
SPS	Falagurada	perdida de produccion						

Anexo E. Matriz de criticidad

		Código:	
		Revisión:	En prueba
		Área:	Mantenimiento
		Páginas:	1 de 1
Título: CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN CRITICIDAD DE EQUIPOS			
AFECTA A SSMA SIGNIFICATIVAMENTE	5	Causa Fatalidad o Accidentes Serios que Provocan Incapacidad	
		Condición de Salud Irreversible	
	3	Daños a Largo Plazo y/o Esparcidos al Ambiente	
		Equipo Controlado por Legislación	
AFECTA CALIDAD DEL PRODUCTO	5	Lesiones leves	
		Impacto financiero sobre el negocio (sanciones).	
	3	Efectos nocivos para la salud de una o más personas	
		Perturbación ecológica de baja duración y/o impactos restringidos en el área ambiental	
AFECTA LA PRODUCCIÓN	5	Primeros auxilios	
		Efectos leves para la salud	
	3	No afecta el medio ambiente	
		Afecta a la calidad del producto final (fuera de especificación para el cliente externo)	
COSTO DE MANTENIMIENTO ELEVADO	5	Afecta al producto para cliente interno (no afecta cliente externo, es posible de recuperación)	
		No afecta a la calidad o especificación del producto.	
	3	Afecta a la meta anual de producción de la planta (irrecuperable)	
		Afecta a la producción de la planta (no afecta a la meta anual, recuperable)	
1	No afecta a la producción		
	5	Genera un costo de mantenimiento igual o superior al 5% del presupuesto mensual de mantenimiento asignado	
3	Genera un costo de mantenimiento de entre un 2% y un 5% del presupuesto mensual de mantenimiento asignado		
1	No afecta significativamente el presupuesto de mantenimiento asignado (< 2%)		
CRITERIOS PARA DEFINIR CRITICIDAD DE ACUERDO A LA SUMATORIA EN LOS ASPECTOS ANALIZADOS			
Clasificación A	Aquello equipos cuya puntuación sea 5 en cualquiera de los siguientes criterios SSMA, Calidad, producción y Costos de mantenimiento		
Clasificación B	Aquello equipos cuya puntuación sea mayor o igual a 8 puntos		
Clasificación C	Aquello equipos cuya puntuación sea menor a 8 puntos		

Anexo F. Evaluación de Criticidad.

Metodología		TABLA DE CALCULO PARA DETERMINAR LA CRITICIDAD					
EQUIPO			CALIFICACIÓN				CLASIFICACIÓN
UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EFEECTO	SSMA	CALIDAD	PRODUCCION	COSTO	CRITICIDAD
Mesa De Cargue	Sensor posicion adelante de la seccion 1	no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
		no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
		imposibilita la operación de la mesa parada corta de produccion	1	1	3	3	Clase B
		imposibilita la operación de la mesa parada corta de produccion	1	1	3	3	Clase B
		no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
	Sensor posicion adelante de la seccion 2	no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
		no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
		imposibilita la operación de la mesa parada corta de produccion	1	1	3	3	Clase B
		imposibilita la operación de la mesa parada corta de produccion	1	1	3	3	Clase B
		no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
	Sensor posicion atras de la seccion 1	no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
		no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
		imposibilita la operación de la mesa parada corta de produccion	1	1	3	3	Clase B
		imposibilita la operación de la mesa parada corta de produccion	1	1	3	3	Clase B
		no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
	Sensor posicion atras de la seccion 2	no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
		no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
		imposibilita la operación de la mesa parada corta de produccion	1	1	3	3	Clase B
		imposibilita la operación de la mesa parada corta de produccion	1	1	3	3	Clase B
		no se detiene la mesa en la posicion requerida	1	1	3	3	Clase B
	Sensor de Presencia de barra	detiene la mesa de cargue	1	1	3	1	Clase C
		detiene la mesa de cargue en una posicion inadecuada	1	1	3	3	Clase B
		detiene la mesa de cargue suspende el cargue del horno, parada corta de produccion	1	1	3	3	Clase B
		detiene la mesa de cargue suspende el cargue del horno, parada corta de produccion	1	1	3	3	Clase B
		detiene la mesa de cargue en una posicion inadecuada	1	1	3	1	Clase C
	Electrovalvula Bidireccional	No se mueve la mesa	1	1	3	3	Clase B
		no se mueve la mesa, suspende el cargue del horno, parada de produccion, perdida de aceite	1	1	3	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		daños al medio ambiente, perdida de aceite	3	1	1	3	Clase B
		avance o retroceso de la mesa sin orden, caída de barras al camino de rodillos	3	1	5	3	Clase A
no se mueve la mesa, suspende el cargue del horno, parada de produccion		1	1	5	3	Clase A	

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	CALIFICACIÓN				CRITICIDAD
			SSMA	CALIDAD	PRODUCCION	COSTO	
Dispositivo de traslado de palanquilla	Sensores de posicion arriba	No confirma posicion arriba, no termina ciclo de operación.	1	1	3	1	Clase C
		NO posicionada en el lugar adecuado, caída de barras	3	1	3	3	Clase B
		No permite competir el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de produccion	1	1	3	1	Clase C
		No permite competir el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de produccion	1	1	3	1	Clase C
		NO posicionada en el lugar adecuado, caída de barras	3	1	3	3	Clase B
	Sensores de posicion abajo	NO confirma posicion abajo, no termina ciclo de operación	1	1	3	1	Clase C
		NO posiciona en el lugar adecuado, degaste del equipo	1	1	1	3	Clase C
		NO permite competir el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de produccion	1	1	3	1	Clase C
		NO permite competir el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de produccion	1	1	3	1	Clase C
		NO posiciona en el lugar adecuado, degaste del equipo	1	1	3	3	Clase B
	Sensores de posicion atrás	NO confirma posicion de atrás, no inicia ciclo de operación	1	1	3	1	Clase C
		No posiciona en el lugar adecuado	1	1	1	3	Clase C
		NO permite competir el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de produccion	1	1	3	3	Clase B
		NO permite competir el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de produccion	1	1	3	3	Clase B
		No posiciona en el lugar adecuado	1	1	3	1	Clase C
	Sensores de posicion media	No confirma la psocion correcta, caída de barras	3	1	3	3	Clase B
		No confirma la psocion correcta, caída de barras	3	1	3	3	Clase B
		NO permite competir el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de produccion	1	1	3	1	Clase C
		NO permite competir el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de produccion	1	1	3	1	Clase C
		No confirma la psocion correcta, caída de barras	3	1	3	3	Clase B
	Sensores de posicion adelante	No confirma la posicion correcta, caída de barras	3	1	3	3	Clase B
		No confirma la psocion correcta, caída de barras	3	1	3	3	Clase B
		NO permite competir el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de produccion	1	1	3	1	Clase C
		NO permite competir el ciclo, interrumpe el cargue del horno, parada de produccion	1	1	3	1	Clase C
		No confirma la psocion correcta, caída de barras	3	1	3	3	Clase B
	Electrovalvula Arriba Abajo	NO se mueven los posicionadores	1	1	3	3	Clase B
		NO se mueven los posicionadores parada de produccion	1	1	1	3	Clase C
		Deterioro del equipo	1	1	3	3	Clase B
		Daños al medio ambiente, perdida de aceite	5	1	5	3	Clase A
		Suben o bajan los posicionadores perdida de la posicion, demora en reiniciar el ciclo de operación	1	1	5	3	Clase A
Electrovalvula adelante atrás	NO se mueven los posicionadores	1	1	5	3	Clase A	
	NO se mueven los posicionadores	1	1	3	3	Clase B	
	NO se mueven los posicionadores	1	1	3	3	Clase B	
	Deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C	
	Daños al medio ambiente, perdida de aceite	5	1	5	3	Clase A	
Se adelantan los posicionadores perdida de la posicion, demora en reiniciar el ciclo de operación	1	1	5	3	Clase A		
NO se mueven los posicionadores	1	1	5	3	Clase A		

EQUIPO		CALIFICACIÓN				CLASIFICACIÓN	
UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EFEECTO	SSMA	CALIDAD	PRODUCCION	COSTO	CRITICIDAD
caminos de rodillos	Motor	no ingresa la barra al horno, parada de produccion mientras se recupera el ciclo	1	1	3	1	Clase C
		no ingresa la barra al horno, parada de produccion mientras se recupera el ciclo	1	1	3	1	Clase C
		perdida de traccion, problemas al ingresar la barra al horno parada corta de produccion	1	1	3	1	Clase C
		no ingresa adecuadamente la barra al horno	3	1	5	3	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	3	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	3	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	3	5	Clase A
	deterioro del equipo	1	1	3	5	Clase A	
	Cableado	no ingresa la barra al horno, parada de produccion mientras se recupera el ciclo	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	3	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	3	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	3	3	Clase B
	Variador	no ingresa la barra al horno, parada de produccion mientras se recupera el ciclo	1	1	3	3	Clase B
		no ingresa la barra al horno, parada de produccion mientras se recupera el ciclo	1	1	3	3	Clase B
		no ingresa la barra al horno, parada de produccion mientras se recupera el ciclo	1	1	3	3	Clase B
		no ingresa la barra al horno, parada de produccion mientras se recupera el ciclo	1	1	3	3	Clase B
		deterioro del motor	1	1	3	3	Clase B
		deterioro del motor	1	1	3	3	Clase B
		deterioro del motor	1	1	3	3	Clase B
		deterioro del motor	1	1	3	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	3	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	3	3	Clase B
	Fotoceldas	no ingresa la barra al horno, parada de produccion mientras se recupera el ciclo	1	1	3	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	3	5	Clase A
deterioro del equipo		1	1	3	5	Clase A	
no se puede cargar el horno en automatico		1	1	3	1	Clase C	
deterioro del equipo		1	1	3	1	Clase C	
no se puede cargar el horno en automatico		1	1	3	1	Clase C	
EMPUJADORA DE PALANQUILLA	Sensor Posicion Adelante	deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no termina el ciclo automatico demoras en el cargue del horno	1	1	3	1	Clase C
		intermitencia en el ciclo automatico del cargue , demoras	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no funciona el ciclo de cargue demoras en el cargue del horno	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	Sensor Posicion Atrás	deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no termina el ciclo automatico demoras en el cargue del horno	1	1	3	1	Clase C
		intermitencia en el ciclo automatico del cargue , demoras	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no funciona el ciclo de cargue demoras en el cargue del horno	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	Eletrovalvula Adelante atrás	no es posible realizar el cargue de la palanquilla demoras en el cargue	1	1	3	5	Clase A
		no es posible realizar el cargue de la palanquilla demoras de produccion	1	1	3	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		Daños al medio ambiente, perdida de aceite	5	1	1	3	Clase A
		se desliza hacia adelante la empujadora, no inicia el ciclo automatico de cargue	1	1	3	1	Clase C
		no es posible realizar el cargue de la palanquilla demoras de produccion	1	1	3	1	Clase C
	Eletrovalvula Puerta de cargue	no es posible realizar el cargue de la palanquilla demoras en el cargue	1	1	3	3	Clase B
		no es posible realizar el cargue de la palanquilla demoras de produccion	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		Perdida de aire comprimido	1	1	1	3	Clase C
		pierde la posicion de la puerta de cargue, perdidas de produccion	1	1	3	1	Clase C
		no es posible realizar el cargue de la palanquilla demoras de produccion	1	1	3	1	Clase C

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	CALIFICACIÓN				CRITICIDAD
			SSMA	CALIDAD	PRODUCCION	COSTO	
SOLETA MOVIL	Sensor Posicion vertical de la solera	No posiciona correctamente la solera	1	1	3	1	Clase C
		no es posible operar el cargue en automatico del horno	1	1	3	1	Clase C
		no es posible operar el cargue en automatico del horno	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no es posible operar el cargue en automatico del horno	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	Sensor psicion horizontal de la solera	No posiciona correctamente la solera	1	1	3	1	Clase C
		no es posible operar el cargue en automatico del horno	1	1	3	1	Clase C
		no es posible operar el cargue en automatico del horno	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no es posible operar el cargue en automatico del horno	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	Electrovalvula Proporcional de movimiento vertical de la solera	no realiza movimiento la solera parada de operación	1	1	5	1	Clase A
		no realiza movimiento la solera parada de operación	1	1	5	1	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
		daños al medio ambiente, perdida de aceite	5	1		5	Clase A
		movimiento no deseados de la solera, demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		no realiza movimiento la solera parada de operación	1	1	5	1	Clase A
	Electrovalvula Proporcional de movimiento horizontal de la solera	no realiza movimiento la solera parada de operación	1	1	5	1	Clase A
		no realiza movimiento la solera parada de operación	1	1	5	1	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
		daños al medio ambiente, perdida de aceite	5	1	1	5	Clase A
		movimiento no deseados de la solera, demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		no realiza movimiento la solera parada de operación	1	1	5	1	Clase A

EQUIPO		CALIFICACIÓN				CLASIFICACIÓN	
UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EFEECTO	SSMA	CALIDAD	PRODUCCION	COSTO	CRITICIDAD
MAQUINA DE DESHORNE	Sensor de posicion adelante del palpador	demoras al iniciar el ciclo automatico de deshorne	1	1	3	1	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		demoras al iniciar el ciclo automatico de deshorne	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	sensor de posicion atrás del palpador	demoras al iniciar el ciclo automatico de deshorne	1	1	3	1	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		demoras al iniciar el ciclo automatico de deshorne	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	Sensor de posicion horizontal maquina de deshorne	Fallas en la ubicación de la palanquilla, caída de barras, demoras en la operación	1	1	3	3	Clase B
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	sensor de posicion arriba maquina de deshorne	demoras al iniciar el ciclo automatico de deshorne	1	1	3	1	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		demoras al iniciar el ciclo automatico de deshorne	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	Sensor de posicion bajo de la maquina de deshorne	demoras al iniciar el ciclo automatico de deshorne	1	1	3	1	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		demoras al iniciar el ciclo automatico de deshorne	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	Electrovalvula adelante atrás del palpador	demora en iniciar el ciclo automatico de descarga, demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		perdidas de aire comprimido	1	1	1	3	Clase C
		perdida de la posicion del palpador, demora al iniciar el ciclo automatico de descarga	1	1	3	1	Clase C
		no es posible operar el descargue en automatico del horno demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
	Electrovalvula adelante atrás maquina de deshorne	demora en iniciar el ciclo automatico de descarga, demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		no es posible realizar la descarga del horno, demoras en la operación	1	1	5	3	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
		daños al medio ambiente, perdida de aceite	5	1	1	1	Clase A
		perdidad de la posicion de reposo de la maquina, demoras al iniciar el ciclo automatico	1	1	3	1	Clase C
		no es posible realizar la descarga del horno, demoras en la operación	1	1	5	1	Clase A
	Electrovalvula arriba abajo maquina de deshorne	demora en iniciar el ciclo automatico de descarga, demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C
		no es posible realizar la descarga del horno, demoras en la operación	1	1	5	3	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
		daños al medio ambiente, perdida de aceite	5	1	1	1	Clase A
		perdidad de la posicion de reposo de la maquina, demoras al iniciar el ciclo automatico	1	1	3	1	Clase C
		no es posible realizar la descarga del horno, demoras en la operación	1	1	5	1	Clase A
Electrovalvula puerta de deshorne	demora en iniciar el ciclo automatico de descarga, demoras en la operación	1	1	3	1	Clase C	
	no es posible abrir la puerta de descarga, demora en la operación	1	1	3	1	Clase C	
	deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C	
	perdidas de aire comprimido	1	1	1	3	Clase C	
	movimientos no deseados de la puerta de descarga	1	1	3	1	Clase C	
	no es posible abrir la puerta de descarga, demora en la operación	1	1	3	1	Clase C	

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	EFECTO	CALIFICACIÓN				CRITICIDAD	
				SSMA	CALIDAD	PRODUCCION	COSTO		
AIRE DE COMBUSTION	Motor		demoras al iniciar el horno	1	1	5	1	Clase A	
			sin efectos significativos	1	1	1	1	Clase C	
			detiene la combustion del horno, parada de operación hasta reiniciar y calentar	1	1	5	3	Clase A	
			detiene la combustion del horno, parada prolongada de operación hasta reiniciar y calentar	1	1	5	3	Clase A	
			no es posible alcanzar la presión del aire cuando el horno esta en plena producción perdida de ritmo	1	1	3	1	Clase C	
			fluctuación en la presión del aire de combustion, combustion inapropiada	1	1	1	3	Clase C	
			deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
			deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
			deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
			deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
	Arrancador Suave			demoras al iniciar el horno	1	1	5	3	Clase A
				sin efectos significativos	1	1	1	1	Clase C
				detiene la combustion del horno, parada de operación hasta reiniciar y calentar	1	1	5	1	Clase A
				detiene la combustion del horno, parada prolongada de operación hasta reiniciar y calentar	1	1	5	1	Clase A
				no es posible alcanzar la presión del aire cuando el horno esta en plena producción perdida de ritmo	1	1	3	3	Clase B
				fluctuación en la presión del aire de combustion, combustion inapropiada	1	1	3	3	Clase B
				deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
				deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
				deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
				deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
	Posicionador succión del ventilador			fluctuación en la presión del aire de combustion, combustion inapropiada	3	1	1	3	Clase B
				fluctuación en la presión del aire de combustion, combustion inapropiada	3	1	1	3	Clase B
				fluctuación en la presión del aire de combustion, combustion inapropiada	3	1	1	3	Clase B
				presión inadecuada del aire de combustion, apagado del horno, demoras de producción	1	1	3	1	Clase C
				fluctuación en la presión del aire de combustion, combustion inapropiada	3	1	1	3	Clase B
				presión inadecuada del aire de combustion, apagado del horno, demoras de producción	3	1	3	3	Clase B
	transmisor de temperatura			fluctuación en la presión del aire de combustion, combustion inapropiada	3	1	1	3	Clase B
				errores en la corrección del flujo de aire, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				errores en la corrección del flujo de aire, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				errores en la corrección del flujo de aire, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
				errores en la corrección del flujo de aire, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
	Transmisor de presión			deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
				errores en la corrección del flujo de aire, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				errores en la corrección del flujo de aire, combustion inadecuada, apagado del horno demora de operación	3	1	1	3	Clase B
				errores en la corrección del flujo de aire, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
				errores en la corrección del flujo de aire, combustion inadecuada, apagado del horno demora de operación	1	1	1	1	Clase C
	Transmisor de flujo de aire zona 1			deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
				combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				no es posible operar la combustion en automatico, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
				apagado de la zona, demoras de operación	1	1	3	1	Clase C
	Transmisor de flujo de aire zona 2			deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
				combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				no es posible operar la combustion en automatico, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
				apagado de la zona, demoras de operación	1	1	3	1	Clase C
	posicionador válvula de flujo de aire zona 1			deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
				combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
				combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
			apagado de la zona, demoras de operación	1	1	3	1	Clase C	
			combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B	

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	CALIFICACIÓN				CRITICIDAD
			SSMA	CALIDAD	PRODUCCION	COSTO	
GAS NATURAL	Electrovalvula valvula de seguridad de entrada de gas	Demora al iniciar el horno	1	1	3	1	Clase C
		apagado del horno, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		perdida de aire comprimido	1	1	1	3	Clase C
		perdida de la confirmacion de la posicion, apagado del horno, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
		no acciona la valvula, demora al inicio del horno	1	1	3	1	Clase C
	Transmisor de presion de gas	calculo errado de los flujos de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		calculo errado de los flujos de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		calculo errado de los flujos de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		calculo errado de los flujos de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	Transmisor de temperatura de gas	calculo errado de los flujos de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		calculo errado de los flujos de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		calculo errado de los flujos de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		calculo errado de los flujos de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	Transmisor de flujo de gas zona 1	lectura errada del flujo de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		no es posible operar la zona en automatico, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		lectura errada del flujo de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no es posible operar la zona en automatico, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	Transmisor de flujo de gas zona 2	lectura errada del flujo de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		no es posible operar la zona en automatico, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		lectura errada del flujo de gas, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
		no es posible operar la zona en automatico, combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	posicionador valvula de flujo de gas zona 1	combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		apagado del azona, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
	posicionador valvula de flujo de gas zona 2	combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		apagado del azona, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	EFECTO	CALIFICACIÓN				CRITICIDAD	
				SSMA	CALIDAD	PRODUCCIÓN	COSTO		
EXTRACCIÓN DE HUMOS	Motor		Demora al iniciar el horno, sobrepresión mala combustión	3	1	3	3	Clase B	
			demora al parar el horno	1	1	3	1	Clase C	
			sobre presión del horno	1	1	1	3	Clase C	
			no permite llevar el horno a plena producción	1	1	3	3	Clase B	
			sobre presión del horno	1	1	3	3	Clase B	
			variaciones en la presión del horno	1	1	3	5	Clase A	
			deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
			deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
			deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
			deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
			deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
			deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
	Variador			Demora al iniciar el horno, sobrepresión mala combustión	3	1	3	3	Clase B
				demoras al parar el horno	1	1	3	1	Clase C
				sobre presión del horno	1	1	1	3	Clase C
				sobre presión del horno	1	1	1	3	Clase C
				no permite llevar el horno a plena producción	1	1	3	1	Clase C
				deterioro del motor	1	1	1	5	Clase A
				sobre presión del horno	1	1	1	3	Clase C
				variaciones en la presión del horno	1	1	1	3	Clase C
				deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
				no permite llevar el horno a plena producción	1	1	5	1	Clase A
				deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
				deterioro del motor	1	1	1	5	Clase A
	deterioro del motor	1	1	1	5	Clase A			
	Posicionador valvula de la compuerta de extraccion de humos			variación en la presión del horno	1	1	1	3	Clase C
				variación en la presión del horno	1	1	1	3	Clase C
				variación en la presión del horno	1	1	1	3	Clase C
				variación en la presión del horno	1	1	1	3	Clase C
				variación en la presión del horno	1	1	1	3	Clase C
				variación en la presión del horno	1	1	1	3	Clase C
	Transmisor de temperatura zona de combustion I			demora al corregir la temperatura de la zona	1	3	3	1	Clase B
				no es posible operar el control de combustión en automatico, riesgo de sobrecalentar el material	1	3	3	1	Clase B
				no es posible operar el control de combustión en automatico, riesgo de sobrecalentar el material	1	3	3	1	Clase B
				deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
				no es posible operar el control de combustión en automatico, riesgo de sobrecalentar el material	1	3	3	1	Clase B
				deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
	Transmisor de temperatura zona de combustion I			demora al corregir la temperatura de la zona	1	3	3	1	Clase B
				no es posible operar el control de combustión en automatico, riesgo de sobrecalentar el material	1	3	3	1	Clase B
				no es posible operar el control de combustión en automatico, riesgo de sobrecalentar el material	1	3	3	1	Clase B
				deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C
				no es posible operar el control de combustión en automatico, riesgo de sobrecalentar el material	1	3	3	1	Clase B
				deterioro del equipo	1	1	1	3	Clase C

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	CALIFICACIÓN				CRITICIDAD
			SSMA	CALIDAD	PRODUCCION	COSTO	
CUARTO DE CONTROL	Tablero de control Aire gas y extraccion de humos	no es posible arrancar el horno	1	1	3	5	Clase A
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		apagada del horno, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		combustion inadecuada	3	1	1	3	Clase B
		apagada del horno, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
		apagada del horno, perdida de produccion	3	1	1	3	Clase B
		combustion inadecuada	1	1	1	1	Clase C
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
	apagada del horno, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C	
	Tablero de control movimiento del horno	no es posible realizar los ciclos de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	5	3	Clase A
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		no es posible realizar los ciclos de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	5	3	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	1	Clase C
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
deterioro del equipo		1	1	1	5	Clase A	
ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B		
CUARTO TRANSFORMADORES	Transformador 1	no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
		no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
		deterioro de todos los equipos	1	1	1	5	Clase A
		deterioro de todos los equipos	1	1	1	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
		no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
		deterioro del aislamiento	1	1	1	5	Clase A
		deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A
	Tableros de distribucion	no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
		no es posible realizar intervenciones	1	1	3	1	Clase C
		no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
		perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	3	Clase B
		no es posible iniciar el horno, perdida de produccion	1	1	5	5	Clase A
	deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
	ciclos inadecuados de cargue y descargue, perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C	
	deterioro del equipo	1	1	1	5	Clase A	
	perdida de produccion	1	1	3	1	Clase C	

Anexo G. Mecanismos de Falla.

CAUSA DE LA FALLA			
ITEM	CLASE DE COMPONENTE	MODOS DE FALLA	MECANISMO DE FALLA (CAUSA)
6	Electrovalvula Bidireccional	Colapso	Golpe, elemento externo
		Fuga en posición cerrada	Desgaste en el spool Rayadura en el spool Desgaste en los oring
		Obstrucción	suciedad en el aceite.
12	Electrovalvula Arriba Abajo	Fuga externa de fluido de servicio	empaques y sellos en mal estado
		Fuga en posición cerrada	Desgaste en el spool Rayadura en el spool Desgaste en los oring
		Obstrucción	suciedad en el aceite.
13	Electrovalvula adelante atrás	Fuga externa de fluido de servicio	empaques y sellos en mal estado
		Fuga en posición cerrada	Desgaste en el spool Rayadura en el spool Desgaste en los oring
		Obstrucción	suciedad en el aceite.
14	Motor	Energía de salida baja	Defectos en las chapas
		Vibración	Soltura mecanica desalineacion desbalanceo problemas electricos
		Ruido	rodamientos
		Sobrecalentamiento	bajo aislamiento alto consumo
16	Variador	Sobrecalentamiento	ventilacion deficiente alto consumo suciedad
		Energía de salida anormal	defectos en los IGBT salida errada de la tarjeta de control
20	Electrovalvula adelante atrás	Falla de accionar cuando se requiere	defecto en las tarjetas electronicas defectos en los solenides
		Colapso	golpes externos
		Fuga externa de fluido de servicio	Empaques deteriorados o rotos desajuste de los bloques hidraulicos fisuras en la estructura
24	Electrovalvula Proporcional de movimiento vertical de la solera	Falla de accionar cuando se requiere	defecto en las tarjetas electronicas defectos en los solenides
		Colapso	golpes externos
		Vibración	soltura de los componentes restricciones del fluido inadecuada
		Fuga externa de fluido de servicio	Empaques deteriorados o rotos desajuste de los bloques hidraulicos
		Obstrucción	fisuras en la estructura suciedad en el aceite.

CAUSA DE LA FALLA			
ITEM	CLASE DE COMPONENTE	MODOS DE FALLA	MECANISMO DE FALLA (CAUSA)
25	Electrovalvula Proporcional de movimiento horizontal de la solera	Falla de accionar cuando se requiere	defecto en las tarjetas electronicas defectos en los solenides
		Colapso	golpes externos
		Vibración	soltura de los ccomponentes restricciones del fluido inadeciadadas
		Fuga externa de fluido de servicio	Empaques deteriorados o rotos desajuste de los bloques hidraulicos
		Obstrucción	fisuras en la estructura suciedad en el aceite.
32	Electrovalvula adelante atrás maquina de deshome	Falla de accionar cuando se requiere	defecto en las tarjetas electronicas defectos en los solenides
		Colapso	golpes externos
		Vibración	soltura de los ccomponentes restricciones del fluido inadeciadadas
		Fuga externa de fluido de servicio	Empaques deteriorados o rotos desajuste de los bloques hidraulicos
		Obstrucción	fisuras en la estructura suciedad en el aceite.
33	Electrovalvula arriba abajo maquina de deshome	Falla de accionar cuando se requiere	defecto en las tarjetas electronicas defectos en los solenides
		Colapso	golpes externos
		Vibración	soltura de los ccomponentes restricciones del fluido inadeciadadas
		Fuga externa de fluido de servicio	Empaques deteriorados o rotos desajuste de los bloques hidraulicos
			fisuras en la estructura
		Obstrucción	suciedad en el aceite.
35	Motor	Colapso	golpes externos
		Vibración	Soltura mecanica desalineacion desbalanceo
		Ruido	problemas electricos
		Sobrecalentamiento	rodamientos
			bajo aislamiento
		Deficiencia estructural	alto consumo
			soltura mecanica fisuras en la estructura
36	Arrancador Suave	Colapso	golpes externos
		Vibración	Soltura mecanica problemas electricos
		Sobrecalentamiento	ventilacion deficiente
			alto consumo
		Deficiencia estructural	suciedad Soltura mecanica

CAUSA DE LA FALLA			
ITEM	CLASE DE COMPONENTE	MODOS DE FALLA	MECANISMO DE FALLA (CAUSA)
51	Motor	Salida errada o fluctuante.	deterioro de chapas
		Vibración	Soltura mecanica
			desalineacion
			desbalanceo
			problemas electricos
		Ruido	problemas en rodamientos
		Sobrecalentamiento	bajo aislamiento
52	Variador		alto consumo
		Deficiencia estructural	Soltura mecanica
			fisuras en la estructura
		Energía de salida alta	problema con las tarjetas electronicas
		Vibración	Soltura mecanica
56	Tablero de control Aire gas y extaccion de humos		problemas electricos
			ventilacion deficiente
		Sobrecalentamiento	alto consumo
			suciedad
57	Tablero de control movimiento del horno	Frecuencia de salida defectuosa	problema con las tarjetas electronicas
		Deficiencia estructural	Soltura mecanica
58	Transformador 1	Falla de arranque cuando se requiere	problema con las tarjetas elec
		Deficiencia estructural	Soltura mecanica
		Falla de arranque cuando se requiere	problemas de sobretemperatura
			bajo aislamiento
		Colapso	golpes externos
		Energía de salida alta	energia de entrada alta
		Energía de salida baja	energia de entrada baja
Vibración	soltura mecanica		
Sobrecalentamiento	bajo aislamiento		
	ventilacion deficiente		
59	Tableros de distribucion	Deficiencia estructural	Soltura mecanica
		Falla de arranque cuando se requiere	probelmas con los seccionadores
		Falla de accionar cuando se requiere	problemas con los seccionadores
		No hay salida	falla con la energia de entrada
		Sobrecalentamiento	ventilacion deficiente
	desajuste en las barras		
	Deficiencia estructural	soltura mecanica	

