

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE
MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS CRITICOS DE
LOS GENERADORES DE VAPOR EN PLANTA
AMPLIACION TACOA**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Álvarez P. Kevin R.
Para optar al Título de
Ingeniero Mecánico.

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE
MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS CRITICOS DE
LOS GENERADORES DE VAPOR EN PLANTA
AMPLIACION TACOA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Alberto Fuentes

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. José De Nobrega

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Álvarez P. Kevin R.
Para optar al Título de
Ingeniero Mecánico.

Caracas, 2009



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA



Caracas, 29 de abril de 2.009

ACTA

Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller:

KEVIN ALVAREZ

Título:


“OPTIMIZACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS CRITICOS DE LOS GENERADORES DE VAPOR EN PLANTA AMPLIACION TACOA”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero Mecánico.


Prof. Alfonso Mateo
Jurado




Prof. Fabián Flores
Jurado


Prof. Alberto Fuetes
Tutor

“NÚCLEO DE INGENIERIA “ARMANDO MENDOZA” HACIA EL 30º ANIVERSARIO”

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme vivir en el momento en que la muerte corría entre muchos.

A mis padres, a mi hermana. De ellos he tenido apoyo incondicional y han sido ejemplo de perseverancia y Amor.

A Vanessa Ivonne Belisario Lozada. Amor, gracias por tu ayuda y tu empeño. Por ser dura conmigo sólo para que siga adelante y por todo el amor y la compañía que me has dado en estos cinco años.

A todos ellos dedico los frutos de este Trabajo de Grado.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la familia Lozada por recibirme en su hogar y por toda la ayuda brindada.

Gracias al personal del Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas de La Electricidad de Caracas por abrir sus puertas y permitir el desarrollo de este trabajo, en especial a las siguientes personas:

Ing. Lisbeth Palacios, Ing. José De Nobrega, Ing. Julio Colina, TSU José Manual González, TSU José Alves, Tec. Virgilio Salas, TSU Hector Barrios.

Agradezco igualmente a mi Tutor Académico y a los miembros del Jurado por apoyar el trabajo realizado.

Álvarez P. Kevin R.

**“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE
MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS CRITICOS DE
LOS GENERADORES DE VAPOR DE PLANTA
AMPLIACION TACOA”**

Tutor Académico: Prof. Alberto Fuentes

Tutor Industrial: Ing. José De Nobrega.

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería
Mecánica**

Año 2009, 150 pág

Palabras Clave: AMEF, Confiabilidad, Criticidad, Mantenimiento.

Resumen.

El presente trabajo fue desarrollado en la Planta Ampliación Tocoa perteneciente al Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas de la Electricidad de Caracas, C.A., con el propósito de mejorar los procedimientos de mantenimiento en los generadores de vapor de las unidades. Se utilizó el Análisis de Criticidad y se aplicó algunas de las herramientas del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de manera tal que las mejoras y la inversión se dirijan hacia los equipos que afectan en mayor grado al sistema. Se desarrolló el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) y la revisión de los procedimientos de mantenimiento para las válvulas de seguridad principales, equipo que resultó crítico. Se efectuó el cálculo de los indicadores de Confiabilidad y Disponibilidad de los generadores de vapor. Una vez adquirido el diagnóstico del sistema se propone la implementación de nuevas tecnologías y las mejoras en los procedimientos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
INTRODUCCION	1
 CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	4
 CAPÍTULO II. DESCRIPCION DE LA EMPRESA	
La Electricidad de Caracas, C.A.....	5
Visión.....	5
Misión.....	5
Ampliación Tocoa.....	6
 CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	
Falla.....	8
Clasificación de las Fallas.....	8
Mantenimiento.....	8
Tipos de Mantenimiento.....	9
Período de Vida de un Equipo.....	11
Período de Arranque.....	12
Período de Vida Útil.....	12
Período de Envejecimiento Rápido.....	13
Confiabilidad Operacional.....	13
Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC).....	15

Beneficios del MCC.....	16
Análisis de Criticidad.....	17
Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).....	22
Requerimientos del AMEF.....	23
Beneficios del AMEF.....	23
Indicadores de Mantenimiento.....	24
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA	
Delimitación del Sistema y Sub-sistemas.....	37
Historial de Fallas.....	39
Análisis de Criticidad.....	41
Procedimientos de Mantenimiento Empleados.....	51
Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).....	59
Confiabilidad y Disponibilidad.....	66
CAPÍTULO V RESULTADOS Y ANÁLISIS	
Recopilación de los históricos de falla	67
Resultado del análisis de criticidad	99
Resultados de la revisión de procedimientos de mantenimiento..	104
Resultados del análisis de modos y efectos de falla (AMEF).....	113
Resultados del cálculo de los indicadores de confiabilidad y disponibilidad.....	125
Mejoras a considerar para los procedimientos de mantenimiento.	142
CONCLUSIONES	150
RECOMENDACIONES	152

BIBLIOGRAFÍA	153
APÉNDICES	
A. Ponderación y Promedios de Las Respuestas en las Encuestas de Criticidad	158
B. Matriz de Excelencia de Mantenimiento	175
ANEXOS	
Fotografías de las válvulas de seguridad.....	177

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Curva de la Bañera.....	11
Figura 2. Aspectos de la Confiabilidad Operacional.....	14
Figura 3. Modelo Básico de Criticidad.....	18
Figura 4. Jerarquización de Criticidad de los sistemas.....	22
Figura 5. Densidad de Probabilidad de Fallas según la distribución Weibull.....	30
Figura 6. Rata de Falla según la Distribución Weibull.....	30
Figura 7. Curvas Representativas de la Metodología OCR.....	32
Figura 8. Metodología empleada para el desarrollo del trabajo.....	35
Figura 9. Módulo de Visualización de Órdenes de Mantenimiento. SAP	41
Figura 10. Formato para Encuesta del Análisis de Criticidad.....	45
Figura 11. Ponderaciones de los Parámetros del Análisis de Criticidad....	46
Figura 12. Procedimientos Administrativos para la Gestión del Mantenimiento.....	53
Figura 13. Planilla de Inspección Diaria de la Caldera.....	54
Figura 14. Válvula en Posición Cerrada.....	61
Figura 15. Válvula Totalmente Abierta.....	62
Figura 16. Válvula en Proceso de Cierre.....	63
Figura 17. Codificación de las Válvulas de Seguridad según el fabricante.....	65
Figura 18. Determinación de la dimensión A en el vástago.....	107
Figura 19. Alivio del asiento fijo.....	110
Figura 20. Dimensión crítica K en el cuerpo de la válvula.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Extracto de la matriz de excelencia de mantenimiento.....	36
Tabla 2. Especificaciones del Sistema.....	37
Tabla 3. Especificaciones del Sub Sistema.....	38
Tabla 4. Ejemplo de Ponderación para las Respuestas de la Encuesta de Críticidad.....	48
Tabla 5. Ejemplo de los Promedios de Puntajes. Tubos de Caldera, Unidad 8.....	49
Tabla 6. Ejemplo del valor de criticidad, tubos de caldera. Unidad 8.....	49
Tabla 7. Especificaciones de las Válvulas de Seguridad.....	64
Tabla 8. Codificación de Válvulas Consolidated Maxiflow.....	65
Tabla 9. Fallas y eventos Unidad 07.....	67
Tabla 10. Fallas y Eventos Unidad 08.....	73
Tabla 11. Fallas y Eventos Unidad 09.....	79
Tabla 12. Ejemplo de registro extraído del sistema SAP	87
Tabla 13. Porcentaje de fallas Unidad 7.....	87
Tabla 14. Porcentaje de fallas Unidad 8.....	88
Tabla 15. Porcentaje de Fallas Unidad 9.....	89
Tabla 16. Holgura Máxima del Porta disco y su guía.....	108
Tabla 17. Alivio del asiento móvil.....	109
Tabla 18. Dimensión crítica para reemplazo del cuerpo de válvula.....	111
Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad.....	113
Tabla 20. Datos de Fallas y Eventos Unidad 7.....	126
Tabla 21. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Confiabilidad Unidad 7.....	126

Tabla 22. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Disponibilidad Unidad 7.....	130
Tabla 23. Datos de Fallas y Eventos Unidad 8.....	131
Tabla 24. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Confiabilidad Unidad 8.....	132
Tabla 25. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Disponibilidad Unidad 8.....	135
Tabla 26. Datos de Fallas y Eventos Unidad 9.....	136
Tabla 27. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Confiabilidad Unidad 9.....	137
Tabla 28. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Disponibilidad Unidad 9.....	140
Tabla 29. Torsión de las tuercas de las varillas de las horquillas [lb-pie]..	144
Tabla 30. Comparación Hydroset vs EVT.....	145
Tabla 31. Costos iniciales para un proyecto de IRT.....	147
Tabla 32. Labores de Mantenimiento Sugeridas para válvulas de seguridad.....	149

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Porcentaje de Fallas Unidad 7.....	88
Gráfico 2. Porcentaje de fallas Unidad 8.....	89
Gráfico 3. Porcentaje de Fallas Unidad 9.....	90
Gráfico 4. Histórico de Fallas Válvulas de Seguridad.....	91
Gráfico 5. Histórico de fallas tubos de caldera.....	92
Gráfico 6. Histórico de fallas Ventiladores de Tiro forzado.....	93
Gráfico 7. Histórico de fallas Sistema de combustible.....	94
Gráfico 8. Histórico de fallas Calentadores de Aire.....	95
Gráfico 9. Histórico de fallas Sopladores de Hollín.....	96
Gráfico 10. Histórico de fallas Ventiladores de recirculación de gases.....	97
Gráfico 11. Histórico de fallas Válvulas de Extracción de la caldera.....	98
Gráfico 12. Resultado del Análisis de Criticidad. Generador de Vapor Unidad 7.....	99
Gráfico 13. Resultado del Análisis de Criticidad. Generador de Vapor Unidad 8.....	101
Gráfico 14. Resultado del Análisis de Criticidad. Generador de Vapor Unidad 9.....	103
Gráfico 15. Probabilidad Weibull Unidad 7.....	128
Gráfico 16. Confiabilidad Unidad 7.....	129
Gráfico 17. Probabilidad Weibull Unidad 8.....	133
Gráfico 18. Confiabilidad Unidad 8.....	134
Gráfico 19. Probabilidad Weibull Unidad 9.....	138
Gráfico 20. Confiabilidad Unidad 9.....	139

INTRODUCCIÓN

La Planta Ampliación Tocoa pertenece a la empresa La Electricidad de Caracas (La EDC), y forma parte del Conunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas (CGJJSB) junto con las Plantas Tocoa y Arrecifes, las cuales se encuentran ubicadas en la Parroquia de Catia la Mar del Estado Vargas. Según las estadísticas de energía y potencia publicadas por la Oficina de Operación de Sistemas Interconectados (OPSIS), La Electricidad de Caracas (EDC) cuenta con una capacidad instalada de 2.156 MW representando el 9,55% del Sistema Eléctrico Nacional. Planta Ampliación Tocoa cuenta con una capacidad de 1.380 MW repartida en tres unidades de generación de 460 MW. Estas unidades operan mediante un ciclo Rankine Regenerativo y con recalentamiento. Para suministrar el flujo de vapor adecuado, cada unidad (numeradas de oeste a este: Unidad N° 7, Unidad N° 8, Unidad N° 9) cuenta con un generador de vapor marca Mitsubishi de tipo intemperie, presurizado, de recalentamiento radiante, el cual se efectúa hasta 540°C a una presión de 32,1 kg/cm², y circulación controlada. El generador puede operar con gas o con fueloil y tienen una capacidad de 1.380 ton/h de vapor a una temperatura de 540°C y una presión de 175.4 kg/cm².

Los programas de mantenimiento aplicados por Planta Ampliación Tocoa se denominan Tipo A, B y C. Adicionalmente se ejecuta un programa de Mantenimiento Preventivo que permite determinar y evitar fallas potenciales. El operador de unidad, a través del sistema de control y monitoreo, es capaz de detectar anomalías en el funcionamiento de las unidades.

A pesar de que la Gerencia de Mantenimiento Mayor y la Gerencia de Mantenimiento Mecánico aplican estos estándares y se preocupan por el correcto funcionamiento de los sistemas, existe un historial de fallas recurrentes que afecta la disponibilidad de las unidades e impacta negativamente al Sistema Eléctrico Nacional.

Esta situación da indicios de que la ejecución de las tareas de mantenimiento requiere de una nueva perspectiva en cuanto a la aplicación de métodos y tecnologías disponibles que permitan disminuir la tasa de fallas. Para lograr este propósito es necesario conocer la manera en cómo se está llevando a cabo la labor de mantenimiento, identificar los equipos críticos dentro del sistema y recopilar estadísticas que cuantifiquen la confiabilidad y disponibilidad. La metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, junto con el análisis de criticidad, son herramientas necesarias para lograr una mejora sustancial en el estándar de mantenimiento que se aplica actualmente a los Generadores de Vapor en Planta Ampliación Tocoa.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las plantas generadoras de energía eléctrica como Ampliación Tocoa, la disponibilidad de los equipos es esencial debido a que de ellos depende el suministro de energía eléctrica en calidad y cantidad necesarias para cubrir la demanda existente. Según las estadísticas mensuales de la OPSIS, la demanda máxima de La EDC en Febrero de 2008 fue de 1.923 MW. El Centro Nacional de Gestión del Sistema Eléctrico planifica el esquema de generación en base a los programas de mantenimiento de las unidades y al consumo de energía estimado.

En la actualidad, Planta Ampliación Tocoa presenta la necesidad de disminuir la tasa de fallas en las unidades generadoras de vapor así como también mejorar el estándar de mantenimiento existente, con el propósito de cubrir satisfactoriamente la demanda y cumplir el esquema de generación pautado. Para esto, se propone UTILIZAR LA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA OPTIMIZAR LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LOS GENERADORES DE VAPOR Y PROPONER NUEVAS TECNOLOGÍAS CAPACES DE ASEGURAR UNA ÓPTIMA OPERACIÓN.

Objetivo General

Optimizar los procedimientos de mantenimiento para los componentes críticos de los generadores de vapor en Planta Ampliación Tocoa, aplicando la técnica de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Objetivos Específicos

- Evaluar las rutinas de mantenimiento aplicadas a los generadores de vapor, conocer las técnicas empleadas actualmente y realizar una recopilación de las estadísticas de fallas.

- Realizar un Análisis de Criticidad a los accesorios principales de los generadores de vapor y determinar cuáles de estos serán objeto de estudio.

- Aplicar el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) en los componentes seleccionados como críticos.

- Aplicar métodos estadísticos para el cálculo de disponibilidad y confiabilidad de los componentes críticos.

- Describir nuevas técnicas y tecnologías y proponer su implementación en los programas de la empresa con la finalidad de mejorar los procedimientos de mantenimiento.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La Electricidad de Caracas

La Electricidad de Caracas es una empresa pública que forma parte de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) dedicada a proveer el mejor servicio eléctrico, y comprometida a responder las expectativas de sus clientes y trabajadores, contribuyendo así a elevar la calidad de vida de la sociedad venezolana. El Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas, ubicado en Arrecifes, Estado Vargas, está conformado por las Plantas Arrecifes, Tocoa y Ampliación Tocoa. La ampliación de Planta Tocoa consiste en una instalación de tres unidades de generación térmica a vapor de 460 MW cada una y corresponden a las unidades 7, 8 y 9.

Visión

Ser una empresa reconocida nacional e internacionalmente como líder innovador, proveedora de un servicio eléctrico de alta calidad, con personal y tecnologías excelentes, financieramente sólida y factor fundamental del sector eléctrico venezolano.

Misión

La Nueva Electricidad de Caracas es una empresa del Estado Venezolano dedicada a proveer el mejor servicio eléctrico y comprometida a responder las expectativas de sus clientes, trabajadores y accionistas, contribuyendo así a elevar la calidad de vida de la sociedad venezolana.

Ampliación Tocoa

Cada una de las unidades de la Planta cuenta con los siguientes equipos e instalaciones:

- (a) Caldera: puede generar 1.380 ton/h de vapor a una presión de 174 kg/cm² y temperatura de 540 °C. Está diseñada para trabajar con gas o fueloil. Posee 16 quemadores de petróleo y 16 quemadores pilotos, de fuego tangencial, que están situados en las esquinas del horno en cuatro elevaciones. Consume 225 gramos de petróleo crudo por kilovatio generado.
- (b) Chimenea: la chimenea de la caldera es de 120 m de altura, lo que garantiza la descripción de los gases de escape de acuerdo a estudios realizados.
- (c) Tambor (Drum): es el cuerpo principal de la caldera, trabaja con vapor a altas presiones, fue instalado en la estructura de la caldera a 47 m de altura, pesa 200 ton y mide 21 m de largo, tiene una capacidad de evaporación de 1.380 ton/h y un diámetro interno de 1,68 m.
- (d) Bombas de circulación de agua de la caldera: hay seis tubos bajantes de 0,373 m de diámetro y una longitud de 31 m, desde la salida del tambor al múltiple de succión de las bombas de circulación de la caldera la cual tiene un diámetro de 0,472 m. Cuatro bombas de circulación succionan el agua de las tomas del fondo del múltiple, a través de las válvulas de succión individuales.

- (e) Turbo Generador: es del tipo de dos polos para generar 503.000 kW a 60Hz y 21.000 V, con un factor de potencia de 0,85. El rotor gira a 3.600 rpm, pesa 700 t y es enfriado con hidrógeno líquido, el extractor pesa 270 t y es enfriado con agua desmineralizada.

- (f) Condensador: es del tipo horizontal, de un solo paso, para un flujo de agua de 45.000 m³/h. Cada cuerpo pesa 70 t y cada cuello que lo une a las turbinas pesa 35 t. Cada condensador tiene 10.431 tubos de 0,022 m de diámetro.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

Se presentan a continuación definiciones necesarias para el entendimiento de la metodología desarrollada.

Falla

Es un evento no previsible, inherente a los sistemas productivos que impide que estos cumplan función bajo condiciones establecidas o que no las cumplan.

Clasificación de las fallas

- Totales: causan incapacidad total del equipo.
- Parciales: causan la degradación del servicio pero no incapacitan el funcionamiento total.
- Súbitas: ocurren instantáneamente.
- Progresivas: la falla se presenta gradualmente en un período en el cual, por lo general, el equipo presenta síntomas.

Mantenimiento

Son las acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema y/o equipo a su estado normal de operación, con el propósito de que cumpla un servicio determinado en las mejores condiciones y dentro de las normas de protección integral.

El mantenimiento también puede significar acciones que aseguren que los elementos físicos continúen desempeñando las funciones deseadas.

Desde otro punto de vista se puede decir que el mantenimiento es aquél que permite reducir los costos totales y mejorar la efectividad de los equipos y sistemas.

A partir de los criterios formulados por los autores citados, en relación al concepto de mantenimiento, se puede definir como el conjunto de actividades que se realizan a un sistema, equipo o componente para asegurar que continúe desempeñando las funciones deseadas dentro de un contexto operacional determinado. Su objetivo primordial es preservar la función, las buenas condiciones de operatividad, optimizar el rendimiento y aumentar el período de vida útil de los activos, procurando una inversión optima de recursos (Gotera, 2003).

Tipos de Mantenimiento

a) Mantenimiento Preventivo

Gotera (2003) lo define como aquel que consiste en un grupo de tareas planificadas que se ejecutan periódicamente, con el objetivo de garantizar que los activos cumplan con las funciones requeridas durante su ciclo de vida útil dentro del contexto operacional donde su ubican, alargar sus ciclos de vida y mejorar la eficiencia de los procesos. En la medida en que optimizamos las frecuencias de realización de las actividades de mantenimiento logramos aumentar las mejoras operacionales de los procesos.

b) Mantenimiento Correctivo

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

Existen desventajas cuando dejamos trabajar una máquina hasta la condición de reparar cuando falle, ya que generalmente los costos por impacto total son mayores que si se hubiera inspeccionado y realizado las tareas de mantenimiento adecuadas que mitigaran o eliminaran las fallas (Gotera, 2003).

c) Mantenimiento Predictivo

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

d) Mantenimiento Proactivo

Es aquel que engloba un conjunto de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo que tienen por objeto lograr que los activos cumplan con las funciones requeridas dentro del contexto operacional donde se ubican,

disminuir las acciones de mantenimiento correctivo, alargar sus ciclos de funcionamiento, obtener mejoras operacionales y aumentar la eficiencia de los procesos (Gotera, 2003).

Período de Vida de un Equipo

Por lo general, los equipos o sistemas de equipos durante su ciclo de vida, desde su puesta en servicio hasta su eliminación o disposición, pasan por tres períodos muy bien definidos y caracterizados, cada uno de ellos, en función a una tasa temporal de fallas determinada $R(t)$. Estas tres etapas se pueden observar en la llamada Curva de la Bañera, Figura 1, junto con sus características principales. Dichas etapas son:

- a) Período de arranque
- b) Período de vida útil
- c) Período de envejecimiento rápido

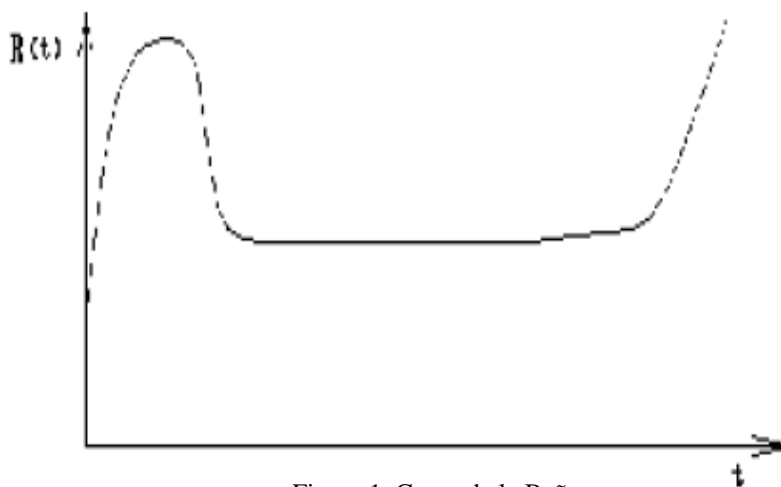


Figura 1. Curva de la Bañera.

a) Período de Arranque

El Período de Arranque está comprendido en un lapso de funcionamiento entre el arranque y la finalización del ajuste del mismo, o etapa de corrección de defectos de diseño, de fabricación, de montaje e instalación del equipo (Infancia). Este período se caracteriza por presentar una tasa de fallas en descenso a medida que transcurre el tiempo.

Debido a que los defectos que se presentan en los equipos en este período, tienen que ver con defectos de fabricación, su corrección y consecuencia suelen estar cubiertas por la garantía dada por el fabricante al comprador del producto.

b) Período de Vida Útil

Este período de tiempo también es conocido como período de operación normal del equipo. El inicio de esta etapa coincide con el final del arranque, siendo su característica principal la presencia de una tasa de falla constante. Durante este Período de Vida Útil el equipo posee la máxima disponibilidad, es decir, durante este tiempo es cuando se espera que el equipo cumpla con la mayoría de sus funciones.

Es importante aclarar que si se tienen diferentes equipos cumpliendo la misma función, estos presentarán tasa de falla diferente durante el Período de Vida Útil. Entre las características más relevantes de esta etapa se pueden nombrar:

- Cubre la mayor parte de la vida del equipo.
- La tasa de falla es constante.

- Las fallas ocurren totalmente al azar, por lo que no se pueden predecir.

c) Período de Envejecimiento Rápido

Este período también es conocido como Período de Desgaste, y se inicia con un aumento progresivo de la tasa de fallas, como consecuencia del proceso de deterioro físico propio del uso, tal como desgaste, fatiga, corrosión, entre otros. Cuando un equipo se encuentra en este Período de Envejecimiento Rápido, puede ser sometido a una operación de reconstrucción la cual puede extender la vida útil de equipo aumentando la rentabilidad de la inversión. También es probable que el equipo haya llegado al momento en que no sea económicamente viable mantenerlo, por lo que se suelen tomar decisiones como reemplazo o la ejecución de mantenimientos mayores capaces de devolverle sus condiciones operativas normales. Lo único que aprobará la reconstrucción de un equipo, deberá ser un estudio económico que confirme si la extensión de vida útil que se pueda obtener con la misma, sea rentable o no. (Báez y Carballo, 2004)

Confiabilidad Operacional

Se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planificación, ejecución y control de la producción. Es importante puntualizar que en un programa de optimización de Confiabilidad Operacional es necesario el análisis de los siguientes cuatro parámetros: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad de los equipos y la confiabilidad de los equipos. La

variación en conjunto o individual de cualquiera de los cuatro parámetros presentados en la Figura 2, afectará el comportamiento global de la confiabilidad operacional de un determinado sistema (Huerta, 2001).

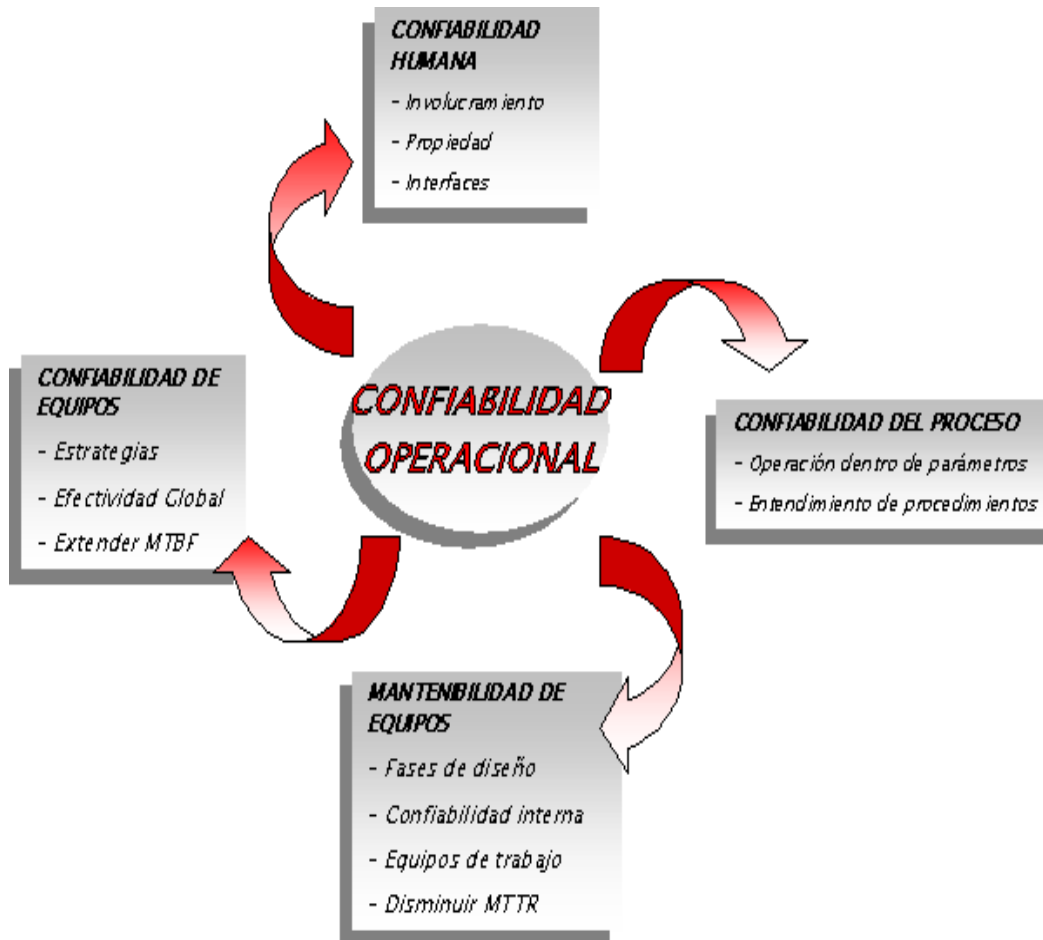


Figura 2. Aspectos de la Confiabilidad Operacional.

La Confiabilidad Operacional está basada sobre una aproximación de sentido común hacia la eficiencia empresarial. Esta no es una fórmula mágica para triunfar, pero introduce una aproximación sistemática hacia la remoción de las

causas de fallas y los actores de mala confiabilidad que afectan los procesos críticos y la rentabilidad total de la empresa. Es la fuerza de trabajo quien resuelve los problemas y provee la entrada que asegura el éxito. Pero sin el compromiso y el involucramiento de la gerencia, aun su mayor esfuerzo no triunfará. La Confiabilidad Operacional crea un nuevo papel para los gerentes: "crear el ambiente para que los resultados sean obtenidos" (Durán, 2000).

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)

El MCC es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. Tuvo su origen en la Industria Aeronáutica. De éstos procesos, el MCC es el más efectivo. El MCC pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante: integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tomados en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento. Concentrando la atención en las tareas de mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantiza que la inversión se utilice donde más beneficio va a reportar.

El objetivo principal del MCC está en reducir el costo de mantenimiento, enfocándose en las funciones más importantes de los sistemas, y evitando o eliminando acciones de mantenimiento que no sean estrictamente necesarias.

Si el MCC se aplicara a un sistema de mantenimiento preventivo ya existente en la empresa, puede reducir la cantidad de mantenimiento rutinario habitualmente hasta un 40% a 70%. Si esta metodología se aplicara para

desarrollar un nuevo sistema de Mantenimiento Preventivo en la empresa, el resultado sería que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales. Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al MCC, permitiendo al personal involucrado en las tareas saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y quien debe hacer qué, para conseguirlo.

Las herramientas comúnmente usadas en el MCC son: selección del sistema y documentación, definición de fronteras del sistema, diagramas funcionales del sistema, identificación de funciones y fallas funcionales, construcción del Análisis de Modos y Efectos de Fallas, construcción del árbol lógico de decisiones e identificación de las tareas de mantenimiento más apropiadas

Beneficios del MCC

- Aumenta la disponibilidad de los equipos
- Reduce el mantenimiento correctivo y las órdenes de trabajo de emergencia
- Reduce las paradas forzadas
- Elimina el mantenimiento preventivo innecesario
- Permite una mejor clasificación de las fallas
- Reduce el número y duración de los reacondicionamientos
- Optimiza el inventario de repuestos
- Mejora el mantenimiento y los procedimientos operativos

Análisis de Criticidad

Según Huerta (2001) el objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y la consecuencia está relacionada con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente.

En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad, los siguientes:

- .. Seguridad
- .. Ambiente
- .. Producción
- .. Costos (operacionales y de mantenimiento)
- .. Tiempo promedio para reparar
- .. Frecuencia de falla

Un modelo básico de Análisis de Criticidad (Huerta, 2001), es equivalente al mostrado en la Figura 3. El establecimiento de criterios se basa en los seis (6) criterios fundamentales nombrados en el párrafo anterior. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

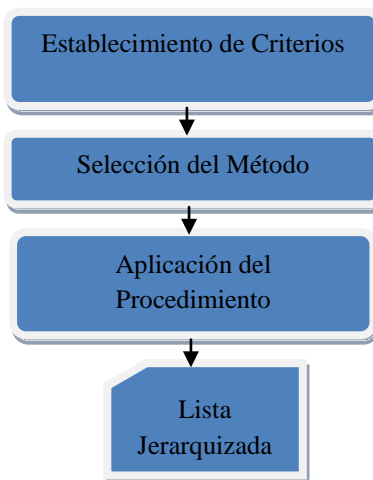


Figura 3. Modelo básico de Criticidad

El Análisis de Criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- a) Mantenimiento: al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y *planes de mantenimiento* de tipo:

predictivo, preventivo, correctivo, proactivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

- b) Inspección: el estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica dónde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los *intervalos* y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.
- c) Materiales: la criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, podemos sincerar el *stock* de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un *costo optimo de inventario*.
- d) Disponibilidad de planta: los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de *inversión de capital* y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.
- e) Personal: un buen estudio de Criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en

cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentran las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

La condición ideal sería disponer de datos estadísticos de los sistemas a evaluar que sean bien precisos, lo cual permitiría cálculos “exactos y absolutos”. Sin embargo desde el punto de vista práctico, dado que pocas veces se dispone de una data histórica de excelente calidad, el Análisis de Criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cuál sería la condición más favorable, así como la condición menos favorable de cada uno de los criterios a evaluar. La información requerida para el análisis siempre estará relacionada con la frecuencia de fallas y sus consecuencias. Para obtener la información requerida, el paso inicial es formar un equipo natural de trabajo integrado por un facilitador (experto en el estudio de criticidad, y quien será el encargado de conducir la actividad), y personal de las organizaciones involucradas en el estudio como lo son operaciones, mantenimiento y especialidades, quienes serán los puntos focales para identificar, seleccionar y conducir al personal conocedor de la realidad operativa de los sistemas objeto del análisis. Este personal debe conocer el sistema, y formar parte de las áreas de: operaciones, mecánica, electricidad, instrumentación, estructura, programadores, especialistas en proceso, diseñadores, etc.; adicionalmente deben formar parte de todos los estratos de la organización, es decir, personal gerencial, supervisorio, capataces y obreros, dado que cada uno de ellos tiene un nivel particular de conocimiento así como diferente visión del negocio.

El método es sencillo y está basado exclusivamente en el *conocimiento* de los participantes, el cual será plasmado en una encuesta. Las columnas de: frecuencia de falla, impacto operacional, tiempo promedio para reparar (TPPR),

costo de reparación, impacto en seguridad e impacto ambiental, son los criterios a tomar en cuenta en el análisis. A cada criterio se le asigna un peso o un criterio de evaluación. Basándose en una fórmula que relaciona la frecuencia de falla por su consecuencia, se estima un valor de criticidad para cada sistema. Los valores de criticidad obtenidos serán ordenados de mayor a menor, y serán graficados utilizando diagramas de barra, lo cual permitirá visualizar fácilmente la distribución descendente de los sistemas evaluados (Huerta, 2001).

La definición de cada criterio es:

- **Frecuencia de Falla:** son las veces que falla cualquier componente del sistema.
- **Impacto Operacional:** es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.
- **Nivel de Producción Manejado:** es la capacidad que se deja de producir cuando ocurre la falla.
- **Tiempo Promedio para Reparar:** es el tiempo para reparar la falla.
- **Costo de Reparación:** costo de la falla.
- **Impacto en Seguridad:** posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas.
- **Impacto Ambiental:** posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente.

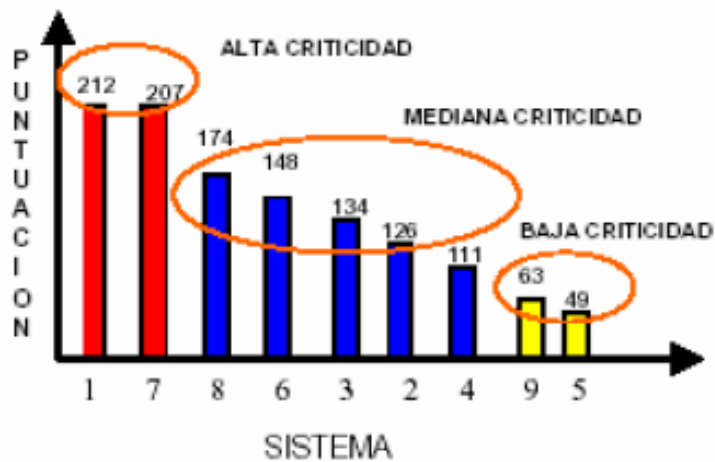


Figura 4. Jerarquización de Criticidad de los sistemas.

Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

Es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que estas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.

Objetivos principales del AMEF

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- Identificar las acciones que podrían eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- Analizar la confiabilidad del sistema.

- Documentar el proceso.

Requerimientos del AMEF

- Un equipo de personas con el compromiso de mejorar la capacidad de diseño para satisfacer las necesidades del cliente.
- Diagramas esquemáticos y de bloque de cada nivel del sistema, desde sub ensambles hasta el sistema completo.
- Especificaciones de los componentes, lista de piezas y datos del diseño.
- Especificaciones funcionales de módulos, sub ensambles, etc.
- Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar.

Beneficios del AMEF

Permite concentrar los recursos capacitados de la empresa en aquellas fallas que son más importantes, para lograr y exceder los objetivos financieros.

Aportes del AMEF al MCC

- Permite que los modos de fallas potenciales y sus efectos sobre la operación del sistema sean considerados durante el diseño.
- Proporciona información adicional útil para la planificación de programas eficientes.
- Detecta fallas donde son necesarias características de autocorrección o de leve protección.

- Identifica los modos de fallas conocidos y potenciales que podrían pasar desapercibidos.
- Detecta fallas primarias que podrían generar fallas secundarias.

Indicadores de Mantenimiento

La efectividad de un sistema (Mosquera, Rivero, Salomón, Valhuerdi, Torres y Perdomo, 1995) es función de dos conceptos muy importantes dentro de un enfoque cuantitativo de análisis de la función de mantenimiento: se trata del concepto de *Disponibilidad*. El concepto de Disponibilidad se define como: "la probabilidad que un sistema, subsistema o equipo esté disponible para su uso durante un tiempo dado". Esta probabilidad, asociada a la probabilidad de tener sistemas, subsistemas o equipos instalados con una redundancia determinada, al estar disponibles para su funcionamiento cuando el sistema, subsistema o equipo sale de servicio, permite la obtención de una relación funcional que determina el comportamiento de la Efectividad del Sistema.

El concepto de Disponibilidad como medida probabilística de que un sistema esté disponible a requerimiento del sistema operativo, es de extraordinaria importancia para la Gerencia de Mantenimiento. El complemento de este concepto o indisponibilidad de un sistema, subsistema o equipo, se utilizará con frecuencia en los análisis de mantenimiento por la forma práctica que toma el concepto en las aplicaciones computarizadas.

La Disponibilidad como parámetro de mantenimiento a su vez es función de dos elementos muy importantes: en primer lugar de la Confiabilidad de un sistema, subsistema o equipo y en segundo lugar de la Mantenibilidad. El

primer elemento se define técnicamente de variadas maneras. Conejero (1964) la define como: "la característica de un elemento expresada por la probabilidad que cumpla sus funciones específicas durante un tiempo determinado cuando se coloca en las condiciones del medio exterior". Finley (1977) la define como: "la probabilidad que un equipo no falle mientras esté en servicio durante un período de tiempo dado". Por último, Valhuerdi y Quintero (1990) la definen como: "la propiedad de un sistema de cumplir las funciones para él previstas, manteniendo su capacidad de trabajo bajo los regímenes y condiciones de explotación prescritos y durante el intervalo de tiempo requerido".

El segundo elemento, es decir, Mantenibilidad se define como: "la probabilidad que un sistema, subsistema o equipo que ha fallado pueda ser reparado dentro de un período de tiempo determinado". La determinación de los parámetros Confiabilidad y Mantenibilidad son determinantes para calcular la disponibilidad de un sistema, subsistema, equipo, parte o pieza de una estructura industrial. Ello proporciona los datos fundamentales para el análisis del proceso de mantenimiento y de una gerencia efectiva, dentro de un ambiente de sistema total que genera gran cantidad de información técnica y que requerirá de evaluación permanente con ayuda de sistemas computarizados.

La Confiabilidad se define como (Huerta, 2006) la probabilidad de que un sistema, equipo o componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un período dado bajo condiciones de operación definidas.

La teoría que aplica la confiabilidad como una herramienta para el buen desempeño de los activos, se ocupa principalmente de las fallas de los sistemas, es decir, es una teoría estadística. Los datos que se toman para el análisis son

los tiempos relacionados con el activo. Como conceptos principales se pueden mencionar (Christensen, 2005):

- a) Tiempo Medio Entre Fallas: el TMEF (TMBF, por sus siglas en inglés) da una idea clara el tiempo promedio que un equipo o grupo de equipos puede funcionar sin detenerse, lo que es lo mismo funcionar sin fallas. Los datos de la siguiente ecuación se toman dentro del período seleccionado para obtener el indicador, puede ser un año, un semestre, trimestre o varios años, tal como la antigüedad de la instalación. Esto depende del objetivo del análisis.

$$TMEF = \frac{\sum \text{horas de marcha de los equipos en el período}}{\text{cantidad de fallas de ese grupo de equipos}} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

No deben contabilizarse las paradas preventivas pues el mantenimiento preventivo no es por falla, es para evitar la ocurrencia de la falla. Todo Mantenimiento Correctivo que surja de una recomendación de Mantenimiento Predictivo debe contemplarse como falla.

- b) Tiempo Medio Para Reparar (TMPR): (MTTR por sus siglas en inglés) este indicador da una idea aproximada del tiempo promedio que se demora en ejecutar el mantenimiento del equipo tras una falla (Mantenimiento Correctivo). Analizando este indicador podemos actuar para reducir los tiempos del equipo detenido por mantenimientos correctivos. Indudablemente estas mejoras del TMPR incrementan la disponibilidad de las instalaciones.

$$TMPR = \frac{\sum \text{horas del enido por correctivos}}{\text{cantidad de OT correctivas}} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

- c) Disponibilidad Operacional: el indicador de Disponibilidad muestra el porcentaje del tiempo considerado, en que el equipo está disponible para la producción. Para el período analizado, sea un mes, trimestre, semestre o el año completo, se contabiliza las horas calendario de ese período y se restan todas las horas que el equipo en cuestión estuvo detenido por intervenciones de mantenimiento. Estas intervenciones son todas las que detuvieron el equipo: mantenimientos de emergencia, mantenimientos correctivos, mantenimientos preventivos, etc. (Christensen, 2006).

$$DIPS = \frac{\text{horas período} - \sum \text{horas de parada todas las unidades}}{\text{horas período}}$$

[Ecuación 4]

O también:

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{[Ecuación 5]}$$

- d) Confiabilidad: es la probabilidad de un equipo o instalación de estar funcionando sin fallas durante un determinado tiempo en las condiciones de operación dadas. Como indicador responde a la siguiente ecuación:

$$CONF = \frac{\text{horas período} - \sum \text{horas de parada por mtto correctivo}}{\text{horas período}}$$

[Ecuación 6]

En este caso se analiza la confiabilidad como un indicador Clase Mundial, pero también puede analizarse como una probabilidad.

En el caso que se analice la Confiabilidad como una probabilidad es necesario calcular una distribución de probabilidad de falla. La Distribución de Weibull es una distribución de fallas muy general y ampliamente difundida por su aplicabilidad a un gran número de situaciones diversas. La Densidad de Fallas es (Mosquera y otros, 1995):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta}}$$

[Ecuación 7]

Las aplicaciones de la Distribución de Weibull se pueden comprender más fácilmente a partir de la expresión de la rata de fallas para esta distribución:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta}} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

Así pues, el Modelo de Weibull es el apropiado para el ajuste de datos en los que la probabilidad condicional de fallas $R(t)$ satisface una ley de potencia del tiempo.

La aplicación de la Distribución de Weibull está sujeta a la cuantificación de los coeficientes " η " y " β " cuyas magnitudes dependen de la serie histórica de los tiempos de operación o corrida de un equipo o componente.

La vida característica η es la edad o tiempo en el cual el 63,2% de la población debe fallar. Mientras, el parámetro de forma β tiene varios casos de interés en la Evaluación de Confiabilidad en equipos mecánicos, tales como:

- Si $\beta < 1$ la tasa de fallos disminuye con la edad sin llegar a cero, por lo que podemos suponer que nos encontramos en la juventud del componente con un margen de seguridad bajo, dando lugar a fallos por tensión de rotura.
- Si $\beta = 1$ la tasa de fallo se mantiene constante siempre, lo que nos indica una característica de fallos aleatoria o pseudo-aleatoria. En este caso encontramos que la Distribución de Weibull es igual a la Exponencial.
- Si $\beta > 1$ la tasa de fallo se incrementa con la edad de forma continua lo que indica que los desgastes empiezan en el momento en que el mecanismo se pone en servicio.
- Si $\beta = 2$ la tasa de falla se incrementa linealmente con el tiempo, este caso es conocido como la Distribución de Rayleigh.
- Si $\beta = 2,5$ la tasa de falla se incrementa, y la distribución se aproxima a la Logarítmica – Normal.
- Si $\beta = 3,44$ se cumple que la media es igual a la mediana y la Distribución de Weibull es sensiblemente igual a la Normal.

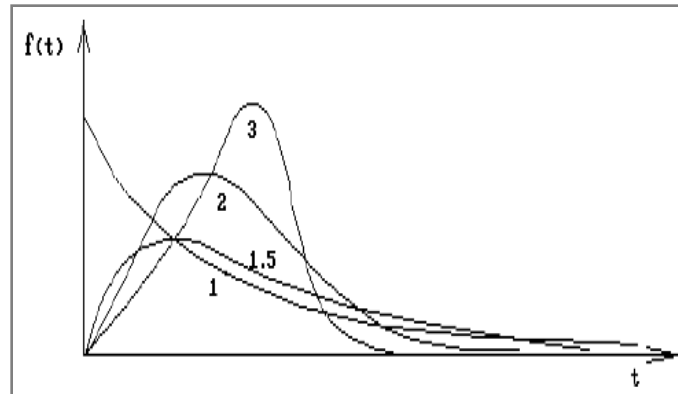


Figura 5. Densidad de Probabilidad de falla según la Distribución de Weibull.

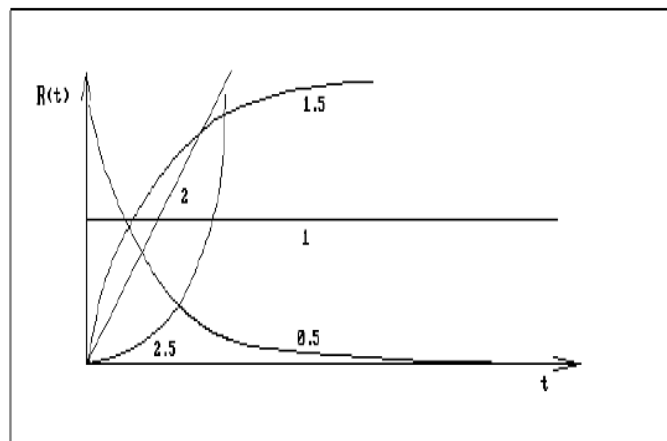


Figura 6. Rata de Fallas según la Distribución de Weibull.

Generalmente para obtener estos parámetros, se utilizan tres métodos como los siguientes:

a) Método analítico

Los métodos analíticos, consisten en la aplicación de estrategias matemáticas y tablas para la obtención de los parámetros de la distribución. Los más usados son (Mosquera y otros, 1995):

- Método de Mínimos Cuadrados
- Método de Máxima Verosimilitud

b) Método gráfico

Consiste en ordenar los datos de una forma tal, que puedan ser empleados una serie de papeles funcionales, en los cuales se gráfica una serie de rectas por puntos estratégicos previamente dibujados en el papel, luego se obtienen los valores de los parámetros por medio de intersecciones de estas líneas.

c) Utilizando software de computación

Posiblemente, es el método más efectivo de obtener parámetros, distribuciones más adecuadas y Evaluación de Confiabilidad en el intervalo de tiempo deseado. Estos programas utilizan pruebas de bondad tales como las de Kolmogorov – Smirnov y Anderson – Darling. Además poseen una gran cantidad de distribuciones estadísticas con las cuales se puede obtener una solución más ajustada a la fuente de datos. Un ejemplo de uno de esos programas es:

- Weibull ++7: un programa para modelar la Confiabilidad desarrollado por ReliaSoft Brazil. Modela por medio de distribuciones tales como Weibull de 1,2 y 3 parámetros, Exponencial de 1 y 2 parámetros, Normal, Log – Normal y Gamma generalizada, entre otras. Recomienda automáticamente la distribución que mejor se ajusta a los datos por medio de pruebas de bondad. Puede escogerse el método de estimación

de parámetros ya sea mínimos cuadrados, máxima verosimilitud o Kaplan – Meier. Weibull ++7 también cuenta con una serie de gráficas que permiten observar el ajuste de los tiempos entre falla de un equipo o componente, entre las cuales podemos nombrar gráficas de función de probabilidad, confiabilidad, probabilidad de falla, función de densidad de probabilidad, tasa de falla, histogramas etc.

El Estudio de Confiabilidad y Probabilidad de falla de un sistema o componente, es muy importante para la estimación de intervalos óptimos de mantenimiento preventivo. Esta metodología permite establecer el mejor momento de realizar la acción involucrando los costos y el riesgo asociado. Estas curvas son llamadas comúnmente de Confiabilidad – Costo, o también el Método de Optimización Costo – Riesgo (OCR). Un ejemplo de esta metodología puede ser apreciada en la Figura 7.

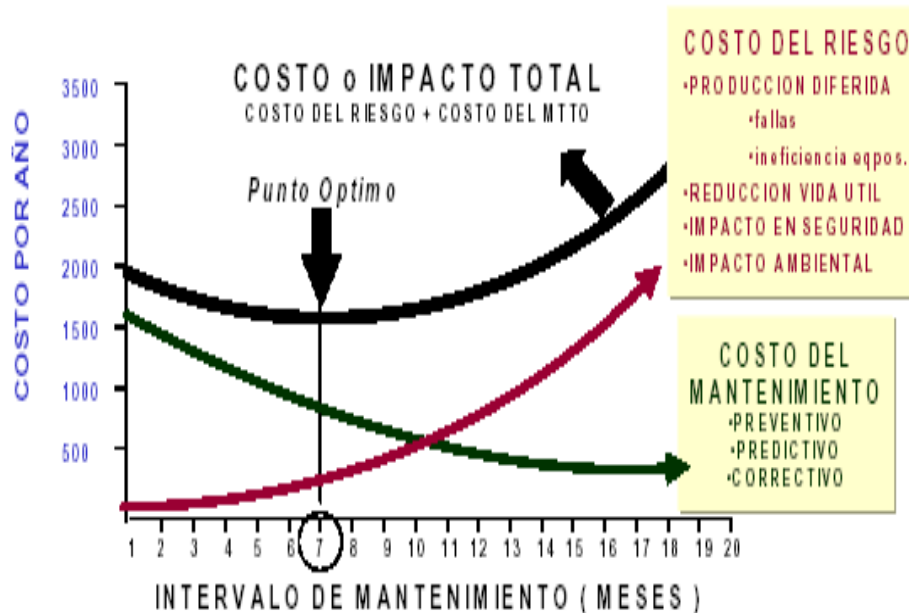


Figura 7. Curvas Representativas de la Metodología OCR

La ecuación que establece el punto óptimo o función global de costo, se determina mediante la suma de dos términos, el primero se asocia a los costos de mantenimiento preventivo asociados a la acción sin que ocurra la falla, y el segundo está relacionado con el riesgo de no realizar la acción preventiva, ambos divididos entre el tiempo del periodo. El riesgo asociado al evento no programado, puede ser medido por la siguiente ecuación:

$$\text{riesgo} = \text{probabilidad de falla} \times \text{consecuencia} \quad [\text{Ecuación 9}]$$

La ecuación anterior también puede ser escrita de la siguiente manera:

$$\text{riesgo} = (1 - R(t)) \cdot Cc \quad [\text{Ecuación 10}]$$

Donde Cc es el costo del mantenimiento no programado bajo la consecuencia de haber ocurrido una falla, y $R(t)$ es el valor de confiabilidad en el tiempo. Por lo tanto, la función global de costos queda definida como:

$$CG = \frac{Cp}{t} + \frac{(1 - R(t)) \cdot Cc}{t} \quad [\text{Ecuación 11}]$$

En esta ecuación, Cp representa los costos de mantenimiento preventivo de ejecutar la acción antes de la falla.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

En la Figura 8 se muestra la secuencia del procedimiento empleado para la determinación del estado actual de los subsistemas y su relación con las actividades de mantenimiento que se están ejecutando en ellos. Las actividades y los análisis hechos son sólo algunas de las herramientas desarrolladas en la filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Estos análisis son necesarios porque permiten determinar en qué medida serán intervenidos los procedimientos de mantenimiento y cuáles son los equipos críticos del sistema estudiado. En otras palabras, se puede conocer si es necesario cambiar, qué se va a cambiar y en dónde se aplicarán esos cambios. Los análisis hechos no están orientados al rediseño sino a la búsqueda de oportunidades de mejoras para optimizar la gestión.

Existen muchos factores que influyen en la efectividad de los planes de mantenimiento. Esos factores se pueden dividir en cuatro categorías principales:

- Gerencia y cultura de trabajo
- Procesos de mantenimiento
- Destrezas personales / Recursos humanos
- Tecnologías

Estas categorías se dividen, cada una, en elementos claves los cuales a su vez se subdividen. Se desarrollan atributos para los sub-elementos y si la Planta cumple con esos atributos entonces se puede decir que se ha logrado un

desempeño de Clase Mundial. La información se presenta luego en forma de matriz.

En el Apéndice B se presenta la Matriz de Excelencia de Mantenimiento desarrollada por el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica EPRI (Electric Power Research Institute) en la *Guía para la Evaluación de Centrales Eléctricas de Combustibles Fósiles* (EPRI, 2003). Esta guía es un complemento a la *Optimización del Mantenimiento de Planta* (EPRI, 2000).

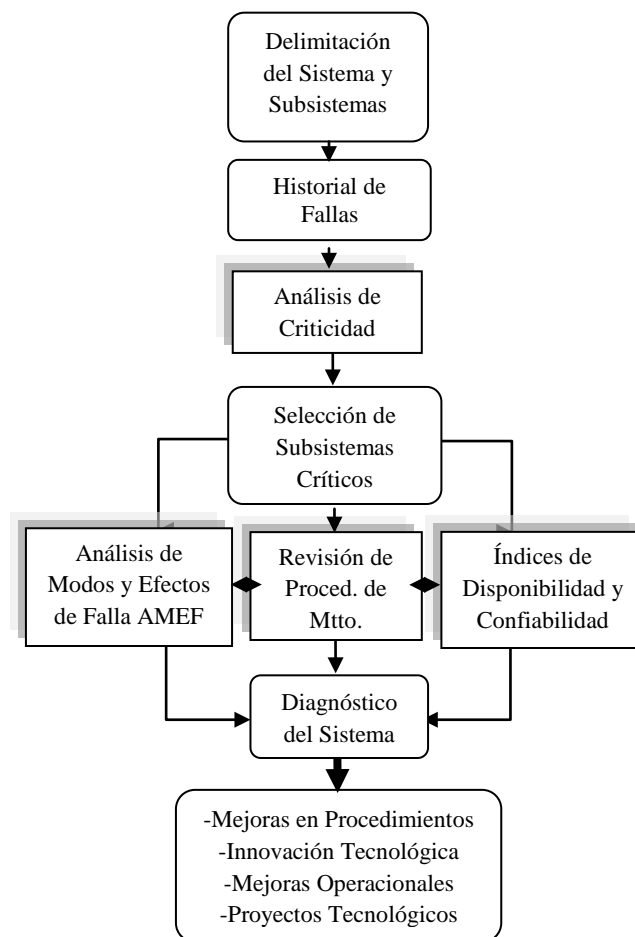


Figura 8. Metodología empleada para el desarrollo del Trabajo.

Se presenta en la tabla mostrada a continuación parte de la matriz, destacando en azul las categorías en las cuales este trabajo hace énfasis.

Tabla 1. Extracto de la matriz de excelencia de mantenimiento.

CATEGORÍA	ELEMENTO	SUB-ELEMENTOS								
		Identificación de procedimientos	Mtto. base	Mtto. Correctivo	Mtto. Preventivo	Mtto. Predictivo	Mtto. Proactivo	Generación de órdenes de trabajo	N/A	N/A
2.0 Procesos de Mantenimiento	Identificación del trabajo	Identificación de procedimientos	Mtto. base	Mtto. Correctivo	Mtto. Preventivo	Mtto. Predictivo	Mtto. Proactivo	Generación de órdenes de trabajo	N/A	N/A
	Control del trabajo	Gerencia de procedimientos	Demoras en procesos	Priorizar el trabajo	Evaluación del riesgo	Control de inventario	Planificación	Programación	Contacto con la gerencia	N/A
	Ejecución	Ejecución de procedimientos	Etiquetado de Equipos	Control de herramientas y materiales	Informe pre trabajo	Tareas de Mtto.	Calidad del trabajo	Seguridad	N/A	N/A
	Cierre	Cierre de procedimientos	Test post Mtto.	Crítica de post trabajo	Captura de datos	House Keeping	Retorno de equipos a servicio	N/A	N/A	N/A
4.0 Tecnologías	Sistema de Gerencia de Mtto.	Sistema computarizado de gerencia de Mtto.	Herramientas de evaluación del riesgo	Herramientas de programación	Reportes y decisiones	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Tecnología de diagnóstico y Mtto.	Herramientas de ejecución	Monitoreo on-line	Monitoreo periódico	Tecnología en software	Utilización de datos de proceso	Herramientas de monitoreo del desempeño de equipos	N/A	N/A	N/A
	Sistema de integración de la información	Financiamiento	Presupuesto y programación	Datos de condición de equipos	Sistema de despacho	Base de datos industrial	Documentación técnica de equipos	N/A	N/A	N/A

Fuente: EPRI, 2003.

Como se observa, la optimización del mantenimiento de planta abarca un gran número de categorías que deben ser evaluadas. La implementación de un Plan de Optimización requiere de un grupo de trabajo que según EPRI (2002) debe constar de seis a ocho personas.

Este trabajo se enfoca a la evaluación de los campos marcados en azul solo para tres unidades generadoras de vapor. Para la evaluación se siguen los pasos mostrados en la Figura 8. Estos pasos contienen herramientas utilizadas por la filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Se aprecia la necesidad de continuar con la optimización del mantenimiento de planta de manera que pueda abarcar las demás categorías y sub categorías.

Delimitación Del Sistema y Sub-Sistemas a Estudiar

Este trabajo se limita a estudiar los Generadores de Vapor del fabricante Mitsubishi pertenecientes a las unidades de generación N° 7, 8, y 9 ubicadas en el Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas de La Electricidad de Caracas. Cada generador de vapor se tomará en su totalidad como sistema principal, los componentes y accesorios formarán parte del subsistema.

Tabla 2. Especificaciones del Sistema.

Sistema: Generador de Vapor	
Tipo	Circulación controlada. Acuatubular
Combustible	Gas – petróleo
Capacidad máx. de vapor	1380 t/h
Temperatura vapor sobrecalentado	540°C
Presión de vapor	174 kg/cm ²

Tabla 2. Especificaciones del Sistema. Cont.

Sistema: Generador de Vapor	
Capacidad de almacenamiento de agua	2.125 m ³
Consumo de petróleo a máx. Carga	84.850 m ³ /h
Consumo de gas a máx. Carga	86.000 m ³ /h.
Número de quemadores	16
Calentador de aire	Rotatorio
Ventilador tiro forzado	2.600 kW
Volumen de aire tiro forzado	303 m ³ /s

Tabla 3. Especificaciones del Sub-sistema.

Sub-sistema	Componentes
Válvulas de Seguridad	Drum: 5 válvulas Maxiflow 1750WA-2 Sobrecalentador: 2 válvulas Maxiflow 1740WE-2 Recalentador: 4 válvulas Maxiflow 1786B-2 4 válvulas Maxiflow 1785E-2
Tubos de la Caldera	Tubos bajantes, subientes, sobrecalentador primario y secundario, recalentador.
Ventiladores de tiro forzado	Ventilador tiro forzado A Ventilador tiro forzado B

Tabla 3. Especificaciones del Sub Sistema. Cont.

Sub-sistema	Componentes
Sistema de Combustible	8 Quemadores de petróleo 8 Quemadores de gas Bombas de petróleo Válvulas de atomización y purga Válvulas neumáticas Válvulas de gas Reguladores de gas Filtros de petróleo
Calentadores de aire rotativos	Calentador de aire # 1 Calentador de aire #2
Sopladores hollín	22 Sopladores de hollín Soplatiros de los calentadores de aire 1 y 2
Ventilador de recirculación de gas	VRG # 1 VRG #2
Bombas de agua de circulación	4 bombas, incluyendo los motores

HISTORIAL DE FALLAS

Sistema

No existe realmente un histórico de fallas para las calderas. La información que actualmente se recopila en la empresa está almacenada, una parte, en el sistema SAP, la otra parte consiste en los eventos de parada de toda la unidad generadora (o paradas de planta) por mantenimiento preventivo programado,

parada forzada, limitación planificada y limitación forzada. De este conjunto de datos hay que seleccionar aquellos eventos que involucran una parada forzada, una limitación forzada o una limitación programada producto de una falla, y que son causados por la caldera. Éstos últimos se clasifican como Falla (F), el resto como Eventos (E). Posteriormente los datos clasificados con estos términos (Falla y Suspensión), serán usados para operaciones de cálculo.

El registro de paradas de planta solo estaba disponible a partir del año 2007 hasta Julio de 2008.

Subsistema

Los datos referidos al historial de fallas se toman del software de Planificación de Recursos Empresariales denominado SAP R/3. Se filtran las órdenes de mantenimiento correctivas (OMG-01) y preventivas (OMG-02) a partir del año 2006 hasta Octubre de 2008 para los accesorios de la caldera. En teoría las órdenes que representan eventos de fallas son las órdenes de mantenimiento correctivas. Se encontró que algunas órdenes clasificadas como preventivas habían sido creadas para solventar un evento de falla. Esto provocó que el filtro del software, en este punto, fuera ineficaz y las órdenes se clasificaron sin la ayuda del mismo.

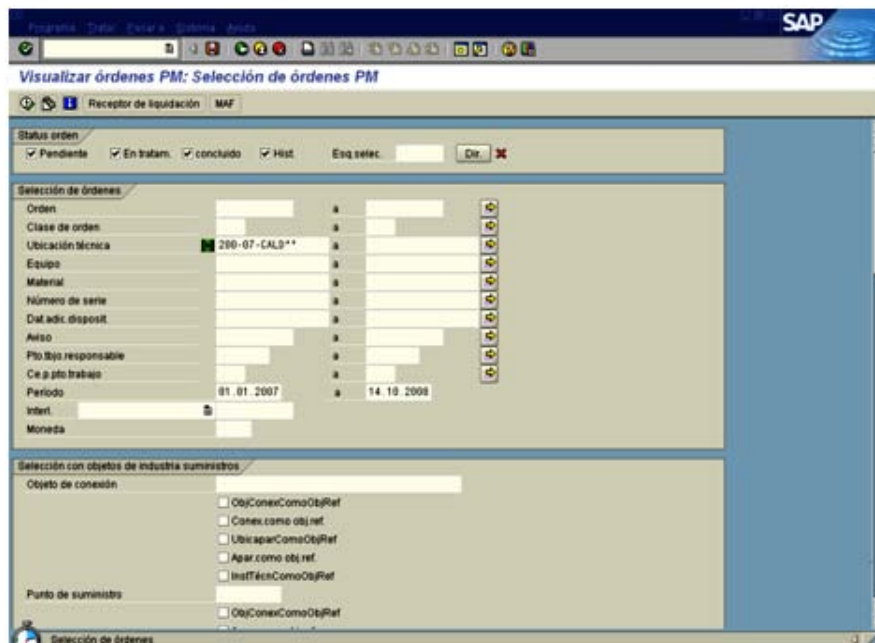


Figura 9. Módulo de Visualización de Órdenes de Mantenimiento. SAP R/3

Este histórico de fallas, desglosado por componentes, no existe actualmente en la empresa. Los gráficos mostrados en los resultados se elaboran utilizando la data sustraída del SAP, los reportes de eventos de los operadores en la Sala de Control, y otros reportes tales como el registro de tubos rotos.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Listado de equipos a estudiar

Con el objeto de optimizar el estudio y direccionar los esfuerzos y recursos hacia los equipos donde sea más necesario, se realiza un listado de componentes (que conforman el subsistema) pertenecientes al generador de vapor y que posteriormente pasan a formar parte del Análisis de Criticidad.

Esta lista no es al azar; se basa en la experiencia de ingenieros, operadores y mecánicos que planifican y ejecutan las labores de mantenimiento de las unidades.

Los componentes del subsistema son:

- Válvulas de seguridad
- Tubos de la caldera
- Ventiladores de tiro forzado
- Sistema de combustible
- Calentadores de aire rotativos
- Sopladores hollín
- Ventilador de recirculación de gas
- Bombas de agua de circulación
- Válvulas de extracción de la caldera

Las especificaciones de cada componente se han descrito al comienzo del capítulo.

Alcance y objetivo del estudio de criticidad

El estudio sólo se aplica a los Generadores de Vapor de las Unidades 7,8 y 9 de la Planta Ampliación Tocoa. La idea es jerarquizar los componentes del sistema para determinar en cuál de ellos se enfocará el Análisis de los Procedimientos de Mantenimiento, la revisión del manejo de la información, el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) y la selección de nuevas tecnologías que pudieran ser aplicadas. Este procedimiento permite dirigir las acciones correctivas y la inversión hacia el o los componentes que afectan en mayor grado al sistema.

Recopilación de datos

Una parte de la información requerida para el análisis se recopila mediante encuestas hechas al personal de la Planta en donde participaron ingenieros, operadores, técnicos y mecánicos. La información restante, como es el caso específico del número de fallas, se extrae de la base de datos de la empresa.

El formato de la encuesta que fue entregada al personal se muestra en la Figura 10. Está compuesta por seis (6) preguntas cada una de las cuales tiene a su vez una serie de respuestas estandarizadas con una ponderación asignada. Esta ponderación se muestra en la Figura 11.

Cada persona encuestada respondió seis preguntas para cada subsistema. El universo de encuestados consta de 15 personas vinculadas a la gestión de mantenimiento y a la operación diaria de cada componente de los subsistemas analizados (Operación, Planificación, Mantenimiento Mayor, Mecánicos). Al finalizar el proceso de encuestas, los datos se procesaron en una hoja de cálculo (Microsoft Excel ®) para obtener los valores promedios de cada pregunta. Estos valores promedios fueron usados entonces para realizar el cálculo de criticidad a cada subsistema.

El formato de encuesta y la tabla de ponderación han sido adaptados tomando como base el Análisis de Criticidad realizado por PDVSA (PDVSA E & P Occidente 2002) dado que los factores de ponderación y los parámetros o criterios del estudio ya han sido estandarizados para una industria similar.

Parámetros del estudio

Un factor importante en el éxito del análisis de criticidad es la veracidad de los datos obtenidos por medio de las encuestas y de los registros de mantenimiento de la empresa.

Para asegurar esta veracidad es necesario informar a todo el personal involucrado acerca del significado de cada parámetro. A continuación se presenta una descripción de cada uno de ellos (Becerra, G y Otros, 2005):

- *Frecuencia de Fallas*: representa las veces que falla cualquier componente del sistema o subsistema y que produzca la pérdida de su función, es decir, que implique una parada. La frecuencia de falla se toma para el período de un año.
- *Tiempo Promedio para Reparar (MTTR)*: es el tiempo promedio por día empleado para reparar la falla, se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente. El MTTR mide la efectividad que se tiene para restituir la unidad o unidades del sistema en estudio a condiciones óptimas de operatividad.

FORMATO PARA ENCUESTA ANALISIS DE CRITICIDAD	
FECHA: _____	
PERSONA _____	ÁREA O SECCIÓN _____
EQUIPO: _____	
1. FRECUENCIA DE FALLA	
	1 Por año o menos
	2 a 4 por año
	5 a 12 por año
	13 a 52 por año
	Más de 52 al año
2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR	
	Menos de 4 h
	Entre 4 y 8 h
	Entre 8 y 24 h
	Entre 24 y 48 h
	Más de 48 h
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN	
	No afecta
	25% de Impacto
	50% de Impacto
	75% de Impacto
	La afecta totalmente
4. COSTO DE REPARACIÓN	
	Menos de 10 mil Bsf
	De 10 a 30 mil Bsf
	De 30 a 50 mil Bsf
	Más de 50 mil Bsf
-	-
5. IMPACTO AMBIENTAL	
	Ningún Impacto ambiental
	Contaminación baja, espacio reducido dentro de los límites de la planta
	Contaminación moderada, no rebasa los límites de la planta
	Contaminación alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios
6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	
	No origina heridas ni lesiones
	Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes
	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días
	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente

Fuente: Adaptación PDVSA E & P Occidente 2002.

Figura 10. Formato para Encuesta del Análisis de Criticidad.

PONDERACIONES DE LOS PARÁMETROS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD	
GENERADORES DE VAPOR PLANTA AMPLIACIÓN TACOA C.G.J.J.S.B. LA ELECTRICIDAD DE CARACAS C.A.	
1. FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA)	PUNTAJE
1 Por año o menos	1
2 a 4 por año	2
5 a 12 por año	3
13 a 52 por año	4
Más de 52 al año	5
2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR	PUNTAJE
Menos de 4 h	1
Entre 4 y 8 h	2
Entre 8 y 24 h	3
Entre 24 y 48 h	4
Más de 48 h	5
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN	PUNTAJE
No afecta	0,05*F
25% de Impacto	0,3*F
50% de Impacto	0,5*F
75% de Impacto	0,8*F
La afecta totalmente	1*F
4. COSTO DE REPARACIÓN	PUNTAJE
Menos de 10 mil Bf.	3
De 10 a 30 mil Bf.	5
De 30 a 50 mil Bf.	10
Más de 50 mil Bf.	25
5. IMPACTO AMBIENTAL	PUNTAJE
Ningún Impacto ambiental	0
Contaminación baja, espacio reducido dentro de los límites de la planta	5
Contaminación moderada, no rebasa los límites de la planta	10
Contaminación alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios	25
6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	PUNTAJE
No origina heridas ni lesiones	0
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes	5
Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días	10
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente	25

Nota: F = Número de falla en el período

Fuente: Adaptación PDVSA E & P Occidente 2002.

Figura 11. Ponderaciones de los Parámetros del Análisis de Criticidad.

- *Impacto en la Producción:* representa la producción aproximada porcentualmente que se deja de obtener (por día), debido a fallas ocurridas (diferimiento de la producción). Se define como la consecuencia inmediata de la ocurrencia de la falla, que puede representar un paro total o parcial de los equipos del sistema estudiado y al mismo tiempo el paro del proceso productivo de la unidad.
- *Costo de Reparación:* se refiere al costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte.
- *Impacto Ambiental:* representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones produciendo la violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a otras instalaciones.
- *Impacto en Salud y Seguridad Personal:* representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones y en los cuales alguna persona pueda o no resultar lesionada.

Ecuación de criticidad

La criticidad se puede determinar en forma semi cuantitativa de la siguiente manera (Huerta, 2001):

$$\text{CRITICIDAD} = \text{FRECUENCIA DE FALLA} * \text{CONSECUENCIA}$$

[Ecuación 12]

Donde:

$$\mathbf{Consecuencia = A+B}$$

A = Costo reparación + impacto seguridad personal + impacto ambiental + impacto satisfacción cliente.

B = Impacto en la producción × Tiempo Promedio para Reparar (MTTR).

Estos parámetros son utilizados para obtener la lista jerarquizada de los equipos. Este procedimiento se aplica para cada unidad Generadora de Vapor (Unidades 7,8 y 9).

Para el estudio se tomo la información del año 2007. Para obtener el Impacto sobre la producción se hace necesario conocer el número de fallas del equipo o subsistema. Esta información se presenta en el Capítulo V Resultados y Análisis.

Se comienza estableciendo la ponderación o puntaje de los parámetros de acuerdo a las respuestas obtenidas en las encuestas. Se muestra un ejemplo de las respuestas dadas por un integrante del área de operación para los tubos de la caldera de la Unidad 8.

Tabla 4. Ejemplo de Ponderación para las Respuestas de la Encuesta de Criticidad.

PARÁMETRO	RESPUESTA	PUNTAJE
Frecuencia de falla	2 a 4 por año	2
MTTR	Entre 8 y 24 Horas	5
Impacto en la producción	La afecta totalmente	8
Costo de reparación	Entre 30-50 mil BsF	10
Impacto ambiental	Ningún impacto ambiental	0
Impacto en salud y seguridad	No origina heridas ni lesiones	0

Luego se realiza un promedio de los puntajes obtenidos a partir de todas las encuestas y con ellas se calcula la criticidad. Se repite el procedimiento para cada equipo o sub sistema.

Tabla 5. Ejemplo de los Promedios de Puntajes. Tubos de Caldera, Unidad 8.

PARÁMETRO	PROMEDIO DE PUNTAJE
Frecuencia de falla	2,733
MTTR	5,000
Impacto en la producción	8,000
Costo de reparación	9,667
Impacto ambiental	3,000
Impacto en salud y seguridad	2,333

Luego se calcula la criticidad. Se presenta un ejemplo de los valores numéricos de las variables para los Tubos de Caldera de la Unidad 8.

Tabla 6. Ejemplo del valor de criticidad, tubos de caldera. Unidad 8.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS.						
RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD						
Promedios Tubos de Caldera						
Unidad	8					
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	2	5	8	10	0	0
Operación	2	5	8	10	0	0
Operación	3	5	8	10	5	0
Operación	3	5	8	10	0	0
Planificación	5	5	8	10	0	0
Planificación	3	5	8	5	0	0
Planificación	3	5	8	5	5	5
Planificación	3	5	8	10	10	10
Mtto. Mayor	3	5	8	10	5	0

Tabla 6. Ejemplo del Valor de Criticidad para los tubos de caldera. Unidad 8. Cont.

Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la Producción	4. Costo de Reparación	5. Impacto Ambiental	6. Impacto Salud y Seguridad Personal
Mtto. Mayor	3	5	8	10	5	5
Mtto. Mayor	2	5	8	25	0	0
Taller Mecánico	2	5	8	10	5	5
Taller Mecánico	3	5	8	5	0	0
Taller Mecánico	2	5	8	10	5	5
Taller Mecánico	2	5	8	5	5	5
PROMEDIOS	2,733	5,000	8,000	9,667	3,000	2,333
	Criticidad:	150,315				

Los gráficos correspondientes al Análisis de Criticidad para cada unidad se muestran en el Capítulo V Resultados y Análisis. Las tablas de los promedios se muestran en el Apéndice A.

PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO EMPLEADOS

La importancia de describir y analizar los procedimientos administrativos y técnicos que se deben aplicar radica en la posibilidad de poder tener un patrón para comparar las actividades que se observan en el campo. De esta manera se pueden detectar rápidamente fallas en los procesos, desviaciones referidas a la aplicación de procedimientos, omisión de pasos o adición de tareas innecesarias.

Es importante añadir que la observación es un factor importante en este análisis y no debe ser subestimada. Debe disponerse de todo el tiempo necesario para realizar la inspección así como también los apuntes respectivos.

Para este análisis se tomaron en cuenta los procedimientos administrativos de gestión del mantenimiento referidos al Mantenimiento Mayor (Overhaul), Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Correctivo. Los procedimientos técnicos se limitarán solo a las válvulas de seguridad del Drum, Sobrecalentador y Recalentador. Adicionalmente se describen las acciones de inspección rutinaria empleadas en los Generadores de Vapor que permiten determinar la “condición” de los subsistemas.

Procedimiento administrativo de Gestión del Mantenimiento

La Electricidad de Caracas cuenta con un software de Planificación de Recursos Empresariales denominado SAP R/3. Algunos de los módulos de SAP son los siguientes:

- Gestión Financiera (FI): libro mayor, libros auxiliares, ledgers especiales.

- Controlling (CO): gastos generales, costes de producto, cuenta de resultados, centros de beneficio, etc.
- Sistema de Proyectos (PS): grafos, contabilidad de costes de proyecto.
- Gestión de Personal (HR): gestión de personal, cálculo de la nómina, contratación de personal, etc.
- Mantenimiento (PM): planificación de tareas, planificación de mantenimiento, etc.
- Gestión de Calidad (QM): planificación de calidad, inspección de calidad, certificado de, aviso de calidad, etc.
- Gestión de Material (MM): Gestión de stocks, compras, verificación de facturas, etc.
- Ventas y Distribución (SD): ventas, expedición, facturación, precios, clientes, etc.
- Activos Fijos (AF), ingresos, depreciación y amortización de activos fijos. (Sub módulo de FI) AM

Dentro del módulo de Planificación de Mantenimiento se almacenan los órdenes de mantenimiento y toda la información asociada. Se muestra a continuación un diagrama que representa los procedimientos administrativos para la Gestión del Mantenimiento.

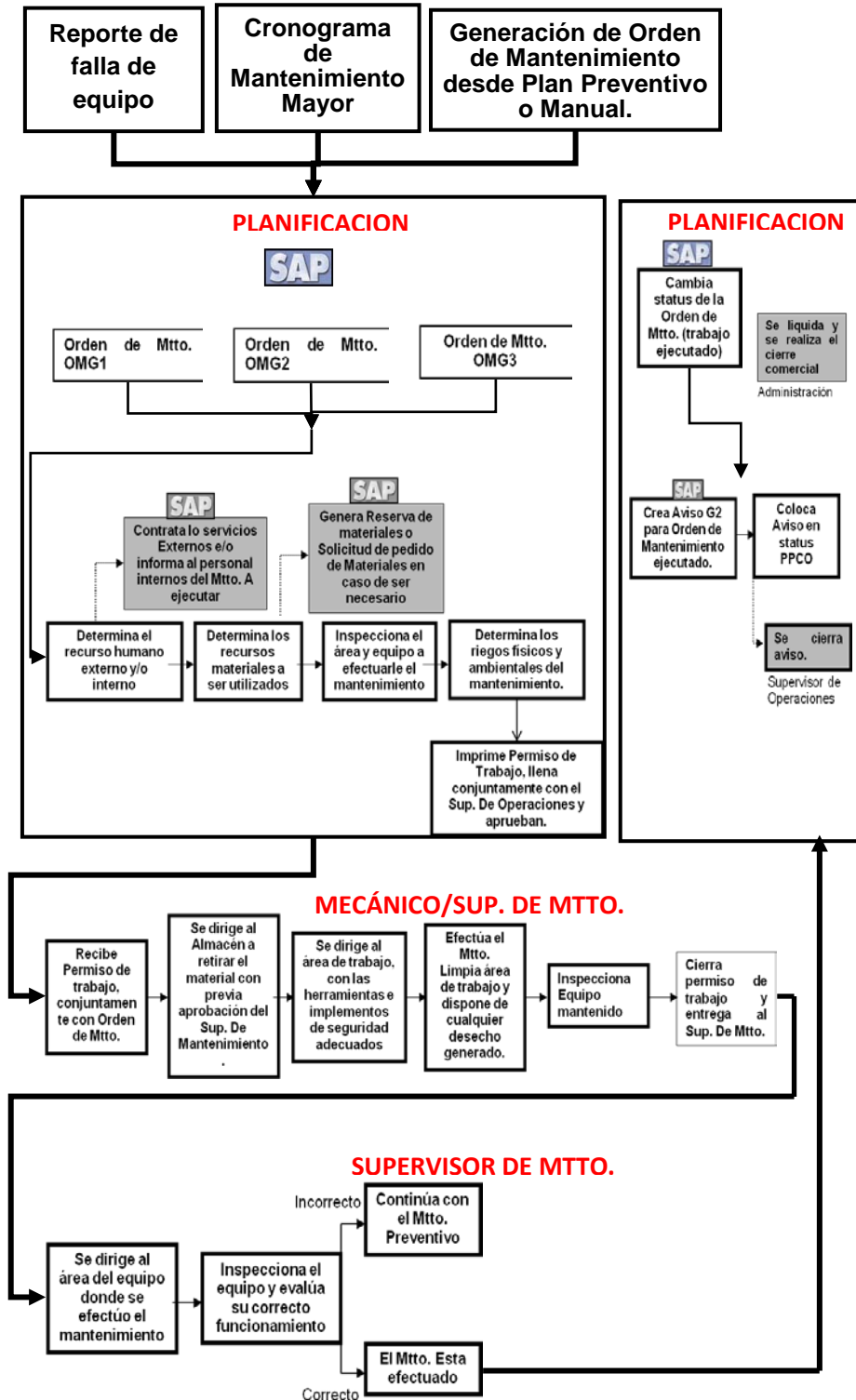


Figura 12. Procedimientos Administrativos para la Gestión del Mantenimiento.

Procedimientos de Inspección Rutinarios

Los procedimientos de inspección rutinarios se resumen en el siguiente formato de inspección:

Planta Ampliación Tocoa

PLANILLA SE INSPECCION DIARIA DE LA CALDERA				Fecha: _____ / Unidad _____		Guardia _____		
PISO	UBICACIÓN	EQUIPO A CHEQUEAR	CONDICIÓN		OBSERVACIONES	ORDEN EMITIDA		
			Buena	Mala		Si	No	
8	Derecha	Niveles del Drum Válvulas de Seguridad MS-SV 01,02,03						
	Frente	Válvula Motorizada MS-MV 13, 14						
	Izquierda	Cámara y niveles del Drum Válvulas de Seguridad MS-SV 04, 05						
		Válvula de cierre del Soplatiro ASCV07						
7	Derecha	Soplatiros AS-SB 05,07,09 Válv. de Seg. Recalentador RS-SV 03,04						
	Frente	Válv. De Seg. SC. 06,07,08,09 Válv. De By-Pass y Stop-valve del SC. 24,24/15,16						
		Izquierda	Soplatiros AS-SB 06,08,10 Válv. de Seg. Rec. RS-SV 01,02					
	6	Derecha	Soplatiros AS-SB 01,03,11,13					
Izquierda		Soplatiros AS-SB 02,04,12,14 Flow Switch del soplatiro Válv. De Vapor aux. y válv. De Seg. CV-01 / AS-SV-01						
5	Derecha	Sonda de Temp. Del Horno						
		Soplatiros AS-SB 15,17						
		Válv. De Seg. Rec. IS-SV 01,02						
	Izquierda	Mirillas						
		T.V. del horno						
		Soplatiros AS-SB 16,18 Válv. De Seg. Rec. IS-SV 03,04						
		Mirillas						

Figura 13. Planilla de Inspección Diaria de la Caldera.

Planta Ampliación Tacao							
PLANILLA SE INSPECCION DIARIA DE LA CALDERA				Fecha: _____ / Unidad _____		Guardia _____	
PISO	UBICACIÓN	EQUIPO A CHEQUEAR	CONDICIÓN		OBSERVACIONES	ORDEN EMITIDA	
			Buena	Mala		Si	No
4	Derecha	Ventiladores de los detectores de llama AD-CD y filtros					
		Splatiros AS-SB 19-21					
	Frente	Válv. de atemp. del SC. FW-CV 03,04					
		Soplatiros AS-SB 20,22					
	Izquierda	Válv. de atemp. de vapor aux. Col. 25 Kg FW-CV 07					
		Compuerta de salida de gases del Economizador					
3	Frente	Válv. de entrada al economizador					
		Válv. de cierre atemp. del Rec. CV-05					
		Válv. de atemp. del Rec. CV-06					
2	Atrás	Válv. de control de vapor aux. desde el Rec. IS-CV-01 y válv. de seg. IS-SV-05,06					
		Quemadores elevaciones C y D. Mirillas					
		Cojinetes guía del calentador de aire 01/02. Bomba de lubricacion 01/02					
		Colector HP de vapor aux. y válv de seg. AS-SV 02					
		Válv. De seg. AS-SV 03. Colector de vapor aux. BP					
		Válv. De control de de presión de vapor aux. CV-01					
		Compuerta de control de aire del piloto					

Figura 13. Planilla de Inspección Diaria de la Caldera. Cont.

Planta Ampliación Tocoa							
PLANILLA SE INSPECCION DIARIA DE LA CALDERA				Fecha: _____ / Unidad _____		Guardia _____	
PISO	UBICACIÓN	EQUIPO A CHEQUEAR	CONDICIÓN		OBSERVACIONES	ORDEN EMITIDA	
			Buena	Mala		Si	No
1	Derecha	Quemadores elevaciones A y B. Mirillas					
		Válv. De cierre de gas natural NGCV 03 y control de flujo NGCV 01					
		Válvula de cierre de gas a pilotos NGCV 05 y válv. De control NGCV 02					
	Izquierda	Válv. De cierre de petróleo FU-CV 03 y la válv. De carga FU-CV 04					
		Válv. De control de flujo de petróleo FU-CV 02					
		Válv. De By-Pass de arranque					
		Válv. De control de atomización del quemador					
	Atrás	Colector de vapor aux. BP					
		Válv. De control de vapor al calentador de aire AS-CV 02, 03					
		Calentador de aire 01/02. Motor de giro AC/neumático					
		Flash Tank drenaje auxiliar.					
	Mez	Frente	Bombas de circulación de la caldera #1 hasta #4 y tren de válvulas				
Válvulas Motorizadas							
MS-MV-01,02 drenaje colector entrada SC. Colgante							
MS-MV-03,04 drenaje colector entrada SC. Colgante							
MS-MV-05,06 drenaje colector entrada SC. Primario							

Figura 13. Planilla de Inspección Diaria de la Caldera. Cont.

Planta Ampliación Tocoa							
PLANILLA SE INSPECCION DIARIA DE LA CALDERA				Fecha: _____ / Unidad _____		Guardia _____	
PISO	UBICACIÓN	EQUIPO A CHEQUEAR	CONDICIÓN		OBSERVACIONES	ORDEN EMITIDA	
			Buena	Mala		Si	No
Mezz	Frente	MS-MV-07, 08 Drenaje colector, salida de SC.					
		MS-MV-09, 10 Drenaje colector, salida de SC. Secundario					
		FW-MW-01 Purga continua tambor a vapor					
		FW-MW-02 03 Purga Sílice					
		Válv. De control de presión de atemp. al recalentador					
		Válv. De control de atemp. De Sobrecalentador					
		FW-CV-08 del recalentador					
		FW-CV-09 extracción de turbina					
PB	Derecha	Tiro Forzado 01					
		Tiro Forzado 02					
	Izquierda	Flash Tank					
		Estación de aire e instrumentación					
	Atrás	Tanques de drenaje de vap. Del calentador de aire 01/02					
		Recirculador de gases 01/02					
		Soplatiros de los calentadores de aire 01/02 y cojinetes de soporte. Bombas de lubricación					
		Enfriador de condensado					
		Estación de petróleo					
		estación de aditivo					

Figura 13. Planilla de Inspección Diaria de la Caldera. Cont.

Esta lista de chequeo se ejecuta diariamente, de manera visual. En ella no se sugiere el uso de instrumentos específicos para la determinación o monitoreo de la condición de los subsistemas.

Procedimientos técnicos de gestión de Mantenimiento

El análisis se restringe a las Válvulas de Seguridad del Drum, Sobrecalentador y Recalentador. Las características de operación y datos técnicos de las válvulas se describen con detalle en el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF). Los datos encontrados acerca de los métodos y procedimientos de mantenimiento que aplica la empresa están basados en el Manual de Operación y Mantenimiento de los Generadores de Vapor Mitsubishi y en el Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento de las válvulas Consolidated Tipo Maxiflow 1700-S1 (descontinuadas), 1700-2-S y 1700-3-S (Dresser Industries, Inc., 1991).

Comparación de la información teórica y práctica

Una vez comprendidos los procedimientos teóricos de mantenimiento, se procedió a la observación de las actividades ejecutadas en el campo. Esta observación dio como resultado una serie de apuntes en los cuales se reflejan las desviaciones respecto a la información teórica. Estas desviaciones incluyen las acciones que no se ejecutan, las que se ejecutan incompletas o erradas y los procedimientos adicionales que no se estipulan en los manuales. Es importante la constante comunicación con los mecánicos, supervisores e ingenieros debido a que pueden existir prácticas que, por las condiciones de operación o por análisis anteriores, hayan sido suprimidas o adicionadas.

El análisis final se muestra en el Capítulo V Resultados y Análisis.

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

Se presenta el desarrollo del Análisis de Modos y Efectos de Fallas para las Válvulas de Seguridad del Drum, Sobrecalentador y Recalentador en los Generadores de Vapor de las Unidades 7,8 y 9 de la Planta Ampliación Tocoa. Para el análisis se requiere toda información disponible referente al subsistema.

Se incluyó la descripción del equipo, su funcionamiento, especificaciones de diseño, operación y diagramas. El análisis extrae las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y sus efectos de los componentes que conforman el subsistema. Este estudio permite identificar fallas de diseño y proporciona una visión detallada del funcionamiento lo cual permite adecuar las acciones de mantenimiento preventivo para eliminar o reducir las fallas funcionales.

Descripción del subsistema Válvulas de Seguridad. Función primaria.

Una válvula de seguridad es usada para proteger un sistema presurizado de la sobrepresión. Bajo una situación de exceso de presión, la presión en la entrada de la válvula aumenta hasta que la fuerza ejercida por el sistema iguala a la fuerza ejercida por el resorte de la válvula. Esto hace que la válvula de seguridad levante, descargando el exceso de fluido, hasta que la presión se reduce hasta el nivel deseado.

Los componentes que estudiados y que conforman el subsistema Válvulas de Seguridad, son los siguientes:

- Asientos
- Cuerpo de válvula
- Vástago
- Anillo de ajuste inferior
- Anillo de ajuste superior
- Pasadores
- Soporte del disco
- Placa cubierta
- Resorte
- Drenajes

Fluido de trabajo de las válvulas:

- Vapor de agua (la presión y temperatura varían según la ubicación dentro del Generador de Vapor: Drum, Sobrecalentador y Recalentador)

Los modelos de las válvulas estudiados fueron:

- Dresser Consolidated MAXIFLOW Serie Tipo 1700-2-S

Régimen de trabajo:

- Las Válvulas de Seguridad deben estar en servicio las 24 horas al día, durante el mismo tiempo de operación que el Generador de Vapor. Se considera que poseen un ciclo de trabajo bajo debido a que operan de forma poco frecuente, cuando abren y cierran. La condición de servicio se puede clasificar como severa debido a que están expuestas a fatiga térmica, ambiente corrosivo, vibraciones, y operan con flujo en dos fases.

Principios de operación

La válvula Maxiflow serie 1700-S (Dresser Industries. Inc. 1991) funciona durante el cierre basada en el principio de contrapresión, es decir, se utiliza la fuerza del vapor retenida en el lado superior del portadisco para ayudar al resorte a empujar el disco de vuelta a su asiento. En la Figura 14 (a continuación), se logra una apertura total (100%) mediante la ubicación apropiada de los anillos de ajuste superior e inferior, (G) y (O) respectivamente.

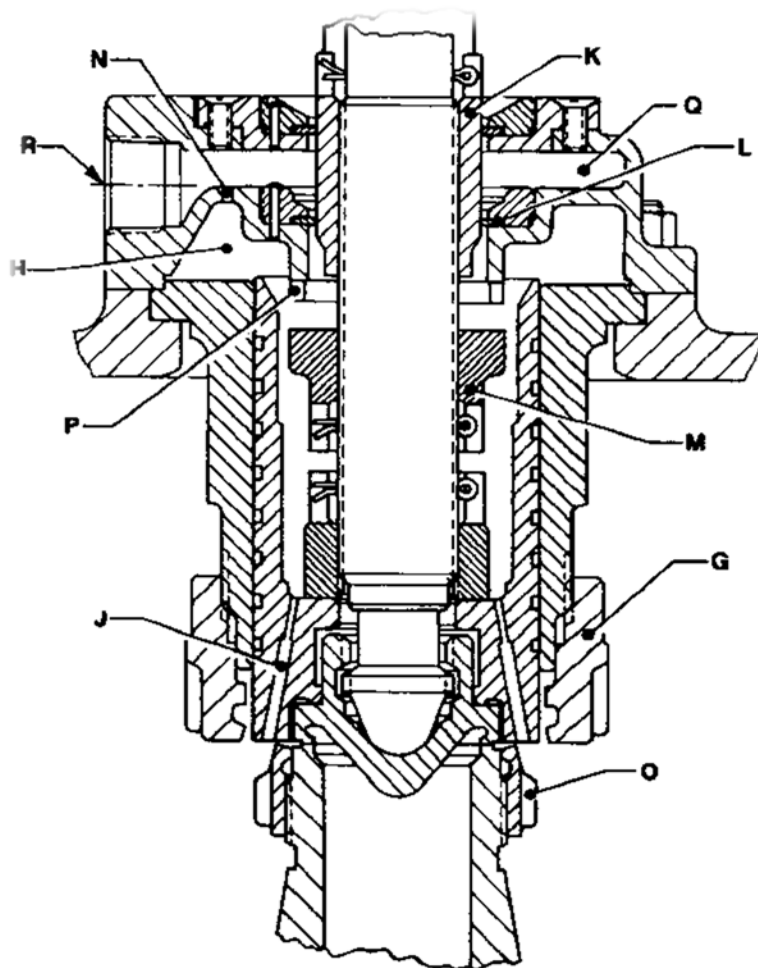


Figura 14. Válvula en Posición Cerrada.

Cuando se logra la elevación total, como se muestra en la Figura 15, el tope de carrera (M) se apoya contra la cubierta (P) para eliminar la oscilación, agregando así estabilidad a la válvula. Cuando la válvula descarga en posición abierta, el vapor es purgado a la cámara (H) por dos agujeros de purga (J) en la bóveda del portadisco. Similarmente, el collar de solape del vástago (K) se eleva a una posición fija encima de la arandela flotante (L). El área entre la arandela flotante y el vástago aumenta debido a la diferencia en los dos diámetros en el collar de solape. En esta condición, el vapor en la cámara (H) entra en la cámara (Q) a través de la cámara secundaria formada por la arandela flotante (L) y el collar de solape (K) en el vástago, y luego a través del orificio (N) para salir a la atmósfera a través de la conexión (R) de descarga tubular.

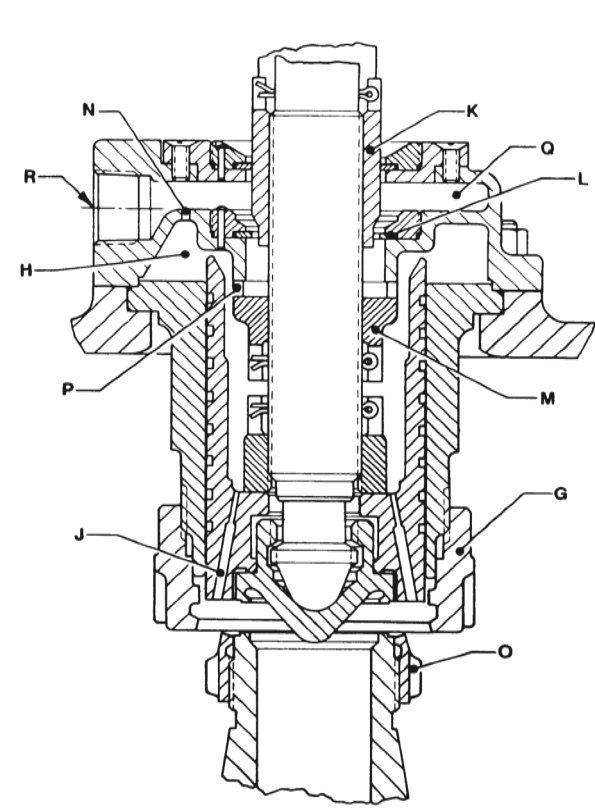


Figura 15. Válvula Totalmente Abierta.

Al cerrarse, como se muestra en la Figura 16, el collar de solape (K) del vástago se ajusta de tal forma que desciende y se introduce en la arandela flotante (L) para reducir el escape de vapor de la cámara (H). El aumento momentáneo de presión resultante en la cámara (H), a una velocidad controlada por el orificio (N), produce un empuje hacia abajo en el mismo sentido en que actúa el resorte. Este empuje de presión, combinado con la fuerza del resorte, produce el cierre preciso de la válvula. La amortiguación del cierre es controlada por el anillo de ajuste inferior (O).

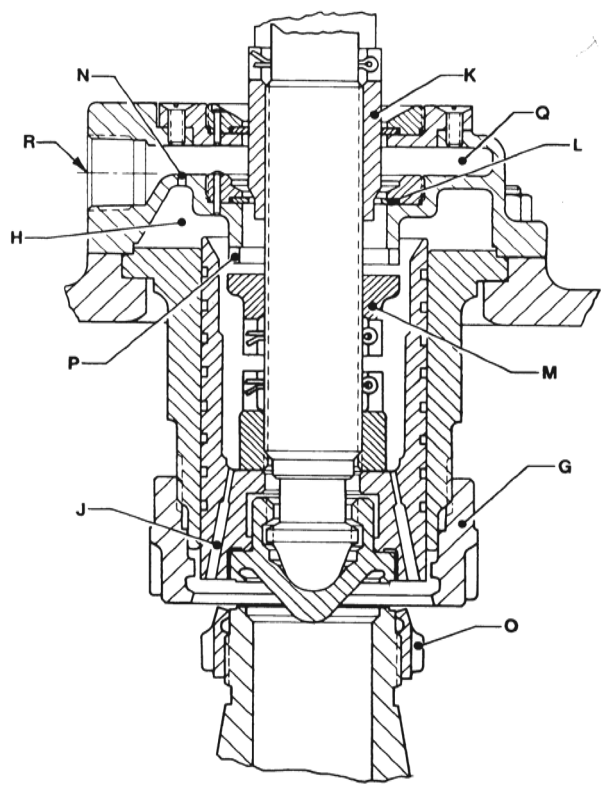


Figura 16. Válvula en Proceso de Cierre.

Especificaciones de las válvulas de seguridad

A continuación se muestra en la Tabla 7 un resumen de las especificaciones de las válvulas de seguridad instaladas en las unidades generadoras de vapor.

Tabla 7. Especificaciones de las Válvulas de Seguridad.

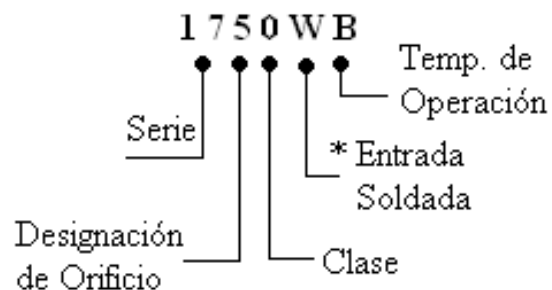
Consolidated 1700-2-S								
Ubicación	Serie tipo	Tamaño	Clase	Serial	Posición	Presión de disparo kg/cm ²	Presión de cierre kg/cm ²	Código de identificación interna (SAP)
Drum	1750WA-2	3"	3000	-	Lado Derecho	203	194	200-0X-CALD-VPPL-001-MSXSV001
	1750WA-2	3"	3000	-	Lado Derecho	209	195	200-0X-CALD-VPPL-001-MSXSV002
	1750WA-2	3"	3000	-	Lado Derecho	209	200	200-0X-CALD-VPPL-001-MSXSV003
	1750WA-2	3"	3000	-	Lado Izquierdo	209	198	200-0X-CALD-VPPL-001-MSXSV004
	1750WA-2	3"	3000	-	Lado Izquierdo	209	197	200-0X-CALD-VPPL-001-MSXSV005
Sobre calentador	1740WE-2	3"	3000	-	Lado Derecho	191	179	200-0X-CALD-VPPL-001-MSXSV006
	1740WE-2	3"	3000	-	Lado Izquierdo	191	183	200-0X-CALD-VPPL-001-MSXSV007
Recalentador	1786B-2	6"	900	-	Entrada	-	-	-
	1786B-2	6"	900	-	Entrada	-	-	-
	1786B-2	6"	900	-	Entrada	-	-	-
	1786B-2	6"	900	-	Entrada	-	-	-
	1785E-2	6"	600	-	Salida	-	-	-
	1785E-2	6"	600	-	Salida	-	-	-
	1785E-2	6"	600	-	Salida	-	-	-

Fuente: Dpto. de Planificación. C.G.J.J.S.B.

X: Número de la Unidad (7,8 ó 9); p.ej.: 200-08-CALD-VPPL-001-MS8SV005= Válvula de Seguridad #5, Vapor Principal, Unidad 8

Identificación de las válvulas

Para identificar la codificación de las válvulas Consolidated Maxiflow, se presenta el siguiente ejemplo:



* Si se omite indica que la entrada es embridada

Figura 17. Codificación de las Válvulas de Seguridad según el fabricante.

Tabla 8. Codificación de Válvulas Consolidated Maxiflow

TAMAÑO DE ORIFICIO		RANGO DE PRESIÓN		TEMPERATURA DE OPERACIÓN	
Designación	Diámetro interno [in.]	Número	Clase	Letra	°F (máx.)
1	1,125	5	600	B	750
2	1,350	6	900	D	1020
3	1,800	7	1500	E	1060
4	2,250	8	2000	F	1100
5	2,062	9	2500	G	1120
6	3,000	0	3000	--	--
7 & 6"Q	3,750	3	4500	--	--
4"Q	3,948	2	4700	--	--
8	4,250	--	--	--	--
R	4,515	--	--	--	--
RR	4,956	--	--	--	--

El AMEF se muestra por medio de tablas que identifican al subsistema, los componentes del subsistema analizado, la función primaria, los modos de falla, las posibles causas de falla y los efectos. Esas tablas se muestran en el Capítulo V Resultados y Análisis. Los planos, diagramas y demás hojas de datos de las válvulas se muestran en la Sección de Anexos.

CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD

Para la estimación de la Confiabilidad y Disponibilidad del sistema es preciso determinar, por separado, la confiabilidad y disponibilidad de cada subsistema y luego realizar un diagrama funcional para determinar los arreglos (en serie y paralelo) de los equipos.

Como la información extraída del sistema SAP no permitió calcular la confiabilidad y disponibilidad de cada componente por separado, se realizó la estimación de estos indicadores de manera global para los Generadores de Vapor tomando los datos de la Planilla de Eventos de la Planta.

Para estimar los indicadores se utilizó la Distribución de Weibull. Todos los datos se manejaron probabilísticamente y se utilizaron modelos matemáticos probados. Estos modelos se simularon en un software llamado Weibul++7 que utiliza un método de simulación basado en el Método de Monte Carlo.

Una vez obtenidos los datos de las fallas (F) y Eventos (S), se ingresan en el software para su procesamiento. Los datos ingresados abarcan desde el 01/01/2007 hasta Junio del 2008 y se muestran en el Capítulo V Resultados y Análisis. El software genera automáticamente los valores y las gráficas correspondientes.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS

RECOPIACIÓN DE LOS HISTÓRICOS DE FALLA

Actualmente, en Planta Ampliación Tocoa, no se cuenta con un registro formal de los históricos de fallas de los accesorios de la caldera. La información está disponible en el sistema SAP R/3 sin embargo, por razones que se explican más adelante, no es fácil obtener la información y las herramientas del software para tal fin resultan ineficaces para extraer la data.

Sistema

Los resultados de las Fallas (F) y los Eventos (E) desde enero de 2007 hasta julio de 2008 para los generadores de vapor, analizados como un todo, son los mostrados en la Tabla 9:

Tabla 9. Fallas y eventos Unidad 07

Fallas y Eventos Unidad 07						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el Inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	18-1-07 19:53	21-1-07 18:25	Parada de Emergencia por Tubos Rotos Caldera.	427,88	70,53	F

Tabla 9. Fallas y Eventos. Unidad 07. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 07						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada por Mtto.	14-3-07 0:26	17-3-07 14:03	Lavado de Calentadores de aire.	1728,43	85,62	E
Parada Inmediata	6-4-07 0:05	6-4-07 1:17	Disparo con 311 MW por problemas en la válvula interceptora de control en la turbina.	2280,08	1,20	E
Parada Programada	19-5-07 1:54	22-5-07 5:48	Reparación Tobera Soplatiros 23 y Lavado de Calentadores de aire	3313,90	75,90	E
Parada Inmediata	14-6-07 14:50	21-6-07 20:40	Parada Forzada por Tubo Rotos en la Caldera	3950,83	173,83	F
Parada Inmediata	22-6-07 19:29	4-7-07 12:17	Disparo por Falla en Sello del Drum Inferior	4147,48	280,80	F
Parada Inmediata	4-7-07 21:42	7-7-07 2:30	Falla por Válvula de Seguridad del Drum Superior	4437,70	52,80	F
Limitación Inmediata	7-7-07 12:44	8-7-07 9:26	Limitada a 250 Mw por Control Químico	4500,73	20,70	F

Tabla 9. Fallas y Eventos. Unidad 07. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 07						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	15-8-07 22:54	21-8-07 14:11	Parada inmediata por tubos rotos en la caldera.	5446,90	135,28	F
Parada Inmediata	21-8-07 16:13	21-8-07 17:17	Disparo por falla de la reguladora de gas N° 43	5584,22	1,07	F
Parada Inmediata	31-8-07 16:08	31-8-07 19:13	Disparo por falla del relé de Perdida de Excitación del generador	5824,13	3,08	E
Parada Inmediata	31-8-07 19:33	31-8-07 20:31	Falla Stop válvula de gas	5827,55	0,97	F
Parada Inmediata	31-8-07 20:52	31-8-07 21:47	Falla Stop válvula de gas	5828,87	0,92	F
Parada Inmediata	31-8-07 23:06	1-9-07 14:18	Falla Stop válvula de gas	5831,10	15,20	F
Parada Inmediata	3-9-07 14:10	30-9-07 17:38	Disparo por Ruptura de la Cámara muerta del Drum inferior	5894,17	651,47	F
Limitación Inmediata	3-10-07 21:09	5-10-07 14:12	Limitada por falla en los calentadores de aire de alta presión.	6621,15	41,05	F

Tabla 9. Fallas y Eventos. Unidad 07. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 07						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	5-10-07 14:12	5-10-07 15:52	Disparo de la Unidad ocasionado por un racionamiento de 40 MW por bajo voltaje en el Sistema Eléctrico de la EDC	6662,20	1,67	E
Limitación Inmediata	5-10-07 15:52	6-10-07 21:14	limitada por falla en los calentadores de aire de alta presión.	6663,87	29,37	F
Limitación Inmediata	30-10-07 22:54	31-10-07 6:05	limitada por falla en el tiro forzado B.	7270,90	7,18	F
Parada Programada	23-11-07 23:51	25-11-07 13:45	Parada Programada por Revisión del Tiro Forzado y Revisión de Válvula Seguridad N° 2.	7847,85	37,90	F

Tabla 9. Fallas y Eventos. Unidad 07. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 07						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Limitación Inmediata	17-12-07 13:09	4-1-08 13:15	Limitada a 365 Mw por Despacho de Carga por NO generar carga neta por Indisponibilidad TBAC	8413,15	432,10	E
Parada Inmediata	8-2-08 16:43	8-2-08 17:45	Parada de Inmediata por Falla en Bomba Agua Estatórica.	9688,72	1,03	E
Parada Inmediata	28-3-08 23:59	30-3-08 19:00	Parada Inmediata por Tubos Rotos en la Caldera	10871,98	43,02	F
Parada Inmediata	10-4-08 14:18	10-4-08 15:25	Parada Inmediata por Disparo en Línea Malena - San Geronimo LOS LLANOS (765 Kv)	11174,30	1,12	E
Limitación Planeada	14-4-08 20:51	16-4-08 6:40	Limitación Planeada por Calentadores de Alta Presión Fuera de Servicio.	11276,85	33,82	E
Parada Inmediata	16-4-08 6:40	20-4-08 15:20	Parada Inmediata por Tubos Rotos en la Caldera	11310,67	104,67	F

Tabla 9. Fallas y Eventos Unidad 07. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 07						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	29-4-08 15:59	29-4-08 21:45	Parada Inmediata por Falla en Línea ORQUETA - AKENOSA 700 Kv	11631,98	5,77	E
Parada Inmediata	2-5-08 23:24	5-5-08 21:00	Parada Inmediata por Tubos Rotos en la Caldera	11711,40	69,60	F
Limitación Planeada	7-5-08 9:48	8-5-08 9:09	Limitación Planeada a 370 Mw por Reparación en TBAC	11817,80	23,35	E
Limitación Planeada	12-5-08 8:43	12-5-08 12:03	Limitación Planeada a 83 Mw por Reparación Flanche línea de 60 kg/cm ² para atemperador	11936,72	3,33	F
Limitación Planeada	12-5-08 12:05	13-5-08 7:35	Limitación Planeada a 370 Mw por Reparación en TBAC	11940,08	19,50	E
Limitación Planeada	16-5-08 6:23	16-5-08 7:50	Limitada Planeada a 100 Mw por Ajuste en válvula de seguridad N° 3 del Drum .	12030,38	1,45	F

Tabla 9. Fallas y Eventos Unidad 07. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 07						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	23-5-08 0:29	24-5-08 10:35	Parada Inmediata Reparación en válvula de seguridad N° 3 del Drum .	12192,48	34,10	F
Parada Inmediata	24-6-08 22:47	25-6-08 19:38	Parada Inmediata por Tubos Rotos en la Caldera	12982,78	20,85	F

Tabla 10. Fallas y Eventos Unidad 08.

Fallas y Eventos Unidad 08						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Reserva Fría	1-1-07 0:00	2-1-07 7:00		0,00	31,00	E
Parada por Mto.	2-1-07 7:00	5-1-07 21:27	Lavado de Calentadores de aire y prueba hidrostática a la caldera.	31,00	86,45	E
Limitación Inmediata	23-4-07 17:03	24-4-07 13:50	Limitada 100 Mw por paso de Cloruro en el Condensador	2705,05	20,78	E

Tabla 10. Fallas y Eventos Unidad 08. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 08						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada por Mtto.	1-4-07 21:59	3-4-07 11:33	Parada Programada Limpieza de Calentadores.	2181,98	37,57	E
Parada Inmediata	20-5-07 23:09	21-5-07 3:13	Disparo a 400 Mw por Bajo Nivel en Caldera por Falla Turbo Bomba	3359,15	4,07	E
Limitación Planeada	21-5-07 13:45	22-5-07 4:00	Limitada a 100 Mw por paso de Cloruro en la Caldera	3373,75	14,25	E
Parada Inmediata	22-6-07 14:13	22-6-07 16:06	Disparo por Falla en Bomba Agua Salada	4142,22	1,88	E
Parada Inmediata	22-6-07 20:56	22-6-07 22:26	Disparo por Falla en Bomba Agua Salada	4148,93	1,50	E
Limitación Inmediata	25-6-07 13:00	30-6-07 23:43	Limitada a 355 Mw por Alta Temperatura a la Entrada del Sobrecalentador por Calentadores de Alta Presión Fuera de Servicio.	4213,00	130,72	E

Tabla 10. Fallas y Eventos Unidad 08. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 08						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Programada	21-7-07 23:57	25-7-07 19:30	Parada Programada por Lavado de Calentadores y Reparación del ducto de Salida de Gases	4847,95	91,55	E
Parada Inmediata	14-7-07 12:32	14-7-07 15:59	Disparo por Bajo Nivel en los pozos de Agua en las Bombas de Enfriamiento	4668,53	3,45	E
Parada Inmediata	18-8-07 15:49	18-8-07 18:16	Disparo por falla en la línea tacaomagallanes 230KV	5511,82	2,45	E
Parada Inmediata	24-8-07 3:20	27-8-07 10:41	Parada inmediata por tubos rotos en la caldera.	5643,33	79,35	F
Parada Inmediata	29-8-07 20:45	29-8-07 23:16	Disparo por bajo vacío de agua en el tambor	5780,75	2,52	F
Limitación Inmediata	26-9-07 10:57	29-9-07 0:38	Limitada a 352 Mw por suciedad en calentadores de aire.	6442,95	61,68	F
Parada Inmediata	29-9-07 0:38	4-10-07 9:45	Parada de Emergencia por Tubos Rotos	6504,63	129,12	F

Tabla 10. Fallas y Eventos Unidad 08. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 08						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Limitación Inmediata	17-11-07 18:48	18-11-07 11:00	Limitada a 100 Mw por Tubo Roto en el Condensador	7698,80	16,20	E
Limitación Inmediata	26-11-07 11:43	26-11-07 20:59	Limitada por pase de Cloruro en Condensador Principal 8A .	7907,72	9,27	E
Limitación Inmediata	9-12-07 19:30	14-12-07 23:45	Limitada a 320 Mw por Alta Temperatura Entrada Sobrecalentador Primario	8227,50	124,25	F
Parada Programada	14-12-07 23:45	18-12-07 1:15	Parada Programada para Revisión Interna de la Caldera .	8351,75	73,50	E
Limitación Inmediata	19-12-07 17:28	20-12-07 13:24	Limitada a 167 Mw por Tubo Roto en el Condensador	8465,47	19,93	E
Parada Inmediata	7-1-08 10:25	7-1-08 11:29	Parada de Emergencia por Desplazamiento Axial en la TBAC	8914,42	1,07	E

Tabla 10. Fallas y Eventos Unidad 08. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 08						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	7-1-08 17:07	8-1-08 21:15	Parada de Emergencia por Tubos Rotos en el Condensador Principal .	8921,12	28,13	E
Parada Inmediata	9-1-08 22:02	11-1-08 18:02	Parada de Emergencia por Fuga en línea de Vapor Auxiliar al desaereador	8974,03	44,00	E
Parada Programada	11-1-08 18:02	11-2-08 17:00	Parada Programada por Adecuación de los Sellos de la Caldera.	9018,03	742,97	E
Limitación Planeada	12-2-08 20:25	13-2-08 11:28	Limitación Planeada a 100 Mw por Control Químico de la Caldera	9788,42	15,05	E
Limitación Planeada	15-2-08 11:13	15-2-08 18:45	Limitación Planeada a 105 Mw por Pase de Cloruro en Condensador Principal	9851,22	7,53	E

Tabla 10. Fallas y Eventos Unidad 08. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 08						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	18-3-08 23:03	19-3-08 13:34	Parada Inmediata por Tubos Rotos en la Caldera	10631,05	14,52	F
Parada Inmediata	29-4-08 15:59	29-4-08 21:18	Parada Inmediata por Falla en Línea ORQUETA - AKENOSA 700 Kv	11631,98	5,32	E
Parada Inmediata	29-4-08 23:54	30-4-08 2:25	Parada Inmediata por Alta Presión en el Horno	11639,90	2,52	F
Limitación Planeada	7-5-08 10:15	9-5-08 22:55	Limitación Planeada a 365 Mw por Sucio en Calentadores de Aire	11818,25	60,67	F
Parada Programada	9-5-08 22:55	10-5-08 13:00	Parada Programada por Lavado de Calentadores de Aire	11878,92	14,08	E
Limitación Planeada	11-5-08 20:04	11-5-08 23:19	Limitada a 340 Mw por Deficiencia en Quemadores	11924,07	3,25	F
Limitación Planeada	24-5-08 2:27	24-5-08 8:17	Limitación Planeada por Alto Consumo de Agua	12218,45	5,83	F
Parada Inmediata	24-5-08 8:17	29-5-08 3:30	Parada Inmediata por Tubos Rotos en la Caldera.	12224,28	115,22	F

Tabla 10. Fallas y Eventos Unidad 08. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 08						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Programada	5-7-08 0:46	5-7-08 14:59	Parada Programada por Lavado de Calentadores de Aire	13224,77	14,22	E

Tabla 11. Fallas y Eventos Unidad 09.

Fallas y Eventos Unidad 09						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Reserva Fría	12-1-07 23:27	15-1-07 7:00	--	287,45	55,55	E
Parada Programada	15-1-07 7:00	4-3-07 12:46	Mantenimiento Programado tipo B.	343,00	1157,77	E
Limitación por mantenimiento	4-3-07 12:46	6-3-07 21:33	Control químico de la Caldera y Acople Entregada al despacho.	1500,77	56,78	E
Parada Inmediata	11-3-07 14:25	11-3-07 17:32	Disparo en 170Mw pr bajo nivel Caldera	1670,42	3,12	F
Parada Inmediata	16-3-07 17:52	16-3-07 20:16	Disparo por Bajo Nivel en el Drum.	1793,87	2,40	F

Tabla 11. Fallas y Eventos Unidad 09. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 09						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	1-5-07 1:18	1-5-07 8:35	Disparo con 250 MW por problemas en motobomba;turbobomba en reparacion	2881,30	7,28	E
Limitación Inmediata	1-5-07 8:35	5-5-07 16:32	Limitada por falla en motobomba	2888,58	103,95	E
Parada Inmediata	26-5-07 2:27	26-5-07 3:25	DISPARO A 400 MW POR BAJO NIVEL EN CALDERA.	3482,45	0,97	E
Limitación Inmediata	26-5-07 9:24	27-5-07 11:36	LIMITADA A 175 MW POR PROBLEMA MBAC.	3489,40	26,20	E
Parada Inmediata	6-6-07 21:19	10-6-07 19:47	Parada Forzada por Tubo Rotos en la Caldera	3765,32	94,47	F
Limitación Inmediata	2-10-07 9:58	2-10-07 12:22	limitada a 283 MW por alto consumo de agua.	6585,97	2,40	F
Limitación Inmediata	2-10-07 12:22	2-10-07 16:25	limitada a 165 MW por tubo roto en la caldera.	6588,37	4,05	F
Parada Inmediata	2-10-07 16:25	15-10-07 1:56	Disparo por causa externa perturbaciones en el Sistema Interconectado Nacional y se dejo Parada por Tubos Rotos en la Caldera	6592,42	297,52	F

Tabla 11. Fallas y Eventos Unidad 09. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 09						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	19-10-07 23:46	21-10-07 19:52	Parada de Emergencia por Tubos Rotos en la Caldera	7007,77	44,10	F
Limitación Inmediata	21-10-07 11:40	21-10-07 12:00	Limitada a 250 MW por falla en la bomba de circulación.	7043,67	0,33	F
Parada Programada	17-11-07 0:49	21-11-07 1:00	Parada Programada por Tubos Rotos en la caldera	7680,82	96,18	F
Limitación Inmediata	6-12-07 15:28	6-12-07 19:25	Limitada a 340 Mw por Falla en Controles de la Caldera	8151,47	3,95	F
Parada Inmediata	6-12-07 19:25	10-12-07 16:29	Parada de Emergencia por Tubos Rotos en la Caldera .	8155,42	93,07	F
Parada Programada	15-2-08 23:33	14-3-08 16:38	Parada Programada por Adecuación de los Sellos de la Caldera y Lavado Químico	9863,55	665,08	E
Parada Programada	20-3-08 0:06	1-4-08 19:00	Parada Programada Lavado Químico .	10656,10	306,90	E
Parada Inmediata	26-4-08 7:00	3-5-08 12:41	Parada Programada por Tubos Rotos en la Caldera	11551,00	173,68	F

Tabla 11. Fallas y Eventos Unidad 09. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 09						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	5-5-08 20:09	6-5-08 1:18	Parada Inmediata por Falla TAC 1 , Breaker Alimentación Principal Panel Digital , lo cual , trajo como consecuencia Perdida de los Equipos Auxiliares Turbina	11780,15	5,15	E
Parada Inmediata	23-5-08 23:39	24-5-08 2:24	Parada Inmediata por Bajo Vacío en el Condensador Principal.	12215,65	2,75	E
Parada Inmediata	1-6-08 0:29	1-6-08 3:15	Parada Inmediata por Falla en Breaker TAC-1 DCS disparando Bombas de Condensado Principal .	12408,48	2,77	E
Parada Inmediata	1-6-08 11:11	1-6-08 15:55	Parada Inmediata por Falla en Breaker TAC-1 DCS disparando Bombas de Condensado Principal .	12419,18	4,73	E
Parada Inmediata	2-6-08 23:59	7-6-08 10:02	Parada Inmediata por Tubos Rotos en la Caldera	12455,98	106,05	F

Tabla 11. Fallas y Eventos Unidad 09. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 09						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	9-6-08 19:47	9-6-08 20:49	Parada Inmediata por Disparo del Ventilador Tiro Forzado	12619,78	1,03	F
Parada Inmediata	9-6-08 20:49	9-6-08 21:55	Parada Inmediata por Cierre en Válvula Interceptora de la Turbina	12620,82	1,10	E
Parada Inmediata	1-5-07 1:18	1-5-07 8:35	Disparo con 250 MW por problemas en motobomba;turbobomba en reparacion	2881,30	7,28	E
Limitación Inmediata	1-5-07 8:35	5-5-07 16:32	Limitada por falla en motobomba	2888,58	103,95	E
Parada Inmediata	26-5-07 2:27	26-5-07 3:25	DISPARO A 400 MW POR BAJO NIVEL EN CALDERA.	3482,45	0,97	E
Limitación Inmediata	26-5-07 9:24	27-5-07 11:36	LIMITADA A 175 MW POR PROBLEMA MBAC.	3489,40	26,20	E
Parada Inmediata	6-6-07 21:19	10-6-07 19:47	Parada Forzada por Tubo Rotos en la Caldera	3765,32	94,47	F
Limitación Inmediata	2-10-07 9:58	2-10-07 12:22	limitada a 283 MW por alto consumo de agua.	6585,97	2,40	F
Limitación Inmediata	2-10-07 12:22	2-10-07 16:25	limitada a 165 MW por tubo roto en la caldera.	6588,37	4,05	F

Tabla 11. Fallas y Eventos Unidad 09. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 09						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	2-10-07 16:25	15-10-07 1:56	Disparo por causa externa perturbaciones en el Sistema Interconectado Nacional y se dejó Parada por Tubos Rotos en la Caldera	6592,42	297,52	F
Parada Inmediata	19-10-07 23:46	21-10-07 19:52	Parada de Emergencia por Tubos Rotos en la Caldera	7007,77	44,10	F
Limitación Inmediata	21-10-07 11:40	21-10-07 12:00	Limitada a 250 MW por falla en la bomba de circulación.	7043,67	0,33	F
Parada Programada	17-11-07 0:49	21-11-07 1:00	Parada Programada por Tubos Rotos en la caldera	7680,82	96,18	F
Limitación Inmediata	6-12-07 15:28	6-12-07 19:25	Limitada a 340 Mw por Falla en Controles de la Caldera	8151,47	3,95	F
Parada Inmediata	6-12-07 19:25	10-12-07 16:29	Parada de Emergencia por Tubos Rotos en la Caldera .	8155,42	93,07	F
Parada Programada	15-2-08 23:33	14-3-08 16:38	Parada Programada por Adecuación de los Sellos de la Caldera y Lavado Químico	9863,55	665,08	E

Tabla 11. Fallas y Eventos Unidad 09. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 09						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Programada	20-3-08 0:06	1-4-08 19:00	Parada Programada Lavado Químico .	10656,10	306,90	E
Parada Inmediata	26-4-08 7:00	3-5-08 12:41	Parada Programada por Tubos Rotos en la Caldera	11551,00	173,68	F
Parada Inmediata	5-5-08 20:09	6-5-08 1:18	Parada Inmediata por Falla TAC 1 , Breaker Alimentación Principal Panel Digital , lo cual , trajo como consecuencia Perdida de los Equipos Auxiliares Turbina	11780,15	5,15	E
Parada Inmediata	23-5-08 23:39	24-5-08 2:24	Parada Inmediata por Bajo Vacío en el Condensador Principal.	12215,65	2,75	E
Parada Inmediata	1-6-08 0:29	1-6-08 3:15	Parada Inmediata por Falla en Breaker TAC-1 DCS disparando Bombas de Condensado Principal .	12408,48	2,77	E
Parada Inmediata	1-6-08 11:11	1-6-08 15:55	Parada Inmediata por Falla en Breaker TAC-1 DCS disparando Bombas de Condensado Principal .	12419,18	4,73	E

Tabla 11. Fallas y Eventos Unidad 09. Cont.

Fallas y Eventos Unidad 09						
Inicio General: 01/01/2007 00:00						
Evento	Inicio	Fin	Causa	Tiempo desde el inicio	Duración [h]	F/E
Parada Inmediata	2-6-08 23:59	7-6-08 10:02	Parada Inmediata por Tubos Rotos en la Caldera	12455,98	106,05	F
Parada Inmediata	9-6-08 19:47	9-6-08 20:49	Parada Inmediata por Disparo del Ventilador Tiro Forzado	12619,78	1,03	F
Parada Inmediata	9-6-08 20:49	9-6-08 21:55	Parada Inmediata por Cierre en Válvula Interceptora de la Turbina	12620,82	1,10	E

Sub Sistema

Se presentan los datos de las fallas encontradas en los componentes del sub sistema para las unidades 7,8 y 9. La data se tomó desde Enero de 2006 hasta Octubre de 2008. Se encontró que en algunos casos órdenes de mantenimiento correctivas (OMG1), son catalogadas como preventivas (OMG2). Esto ocasionó que al momento de filtrar la información no se pudiese utilizar la herramienta automatizada del software y por lo tanto aumentó el tiempo necesario para clasificar las fallas de cada componente.

Por ejemplo, en la Tabla 12 se presenta un registro extraído del sistema SAP:

Tabla 12. Ejemplo de registro extraído del sistema SAP

Orden N°	Inicio extremo	Fin extremo	Tipo de orden	Ubicación técnica SAP	Descripción
1126387	03/10/2008	06/10/2008	OMG2	200-07-CALD- VAUX-001- 7AS072	Fuga Cuerpo Valv. Extracción #4 Colect. 5kg

La orden está catalogada como OMG2 (mantenimiento preventivo) pero, al ver la descripción y verificar el detalle de la orden, se demuestra que fue creada para reparar una fuga en el cuerpo de la válvula de extracción N°4 en el colector de 5kg. Si se usara el filtro automatizado se estaría excluyendo este dato, lo que podría ocasionar errores en la interpretación de los cálculos de los indicadores.

Los gráficos correspondientes se presentan a continuación:

Unidad 7:

Tabla 13. Porcentaje de fallas Unidad 7

UNIDAD 7	01/01/2007—Octubre de 2008	N° Fallas	%
Válvulas de Seguridad		10	4,00
Tubos de caldera		13	5,20
Ventilador tiro forzado		2	0,80
Sistema de Combustible		155	62,00
Calentadores de Aire		10	4,00
Sopladores de hollín		54	21,60
Ventilador de recirculación de gases		4	1,60
Bombas de circulación de la caldera		0	0,00
Válvulas de drenaje (caldera)		2	0,80
Total de fallas en el período		250	100

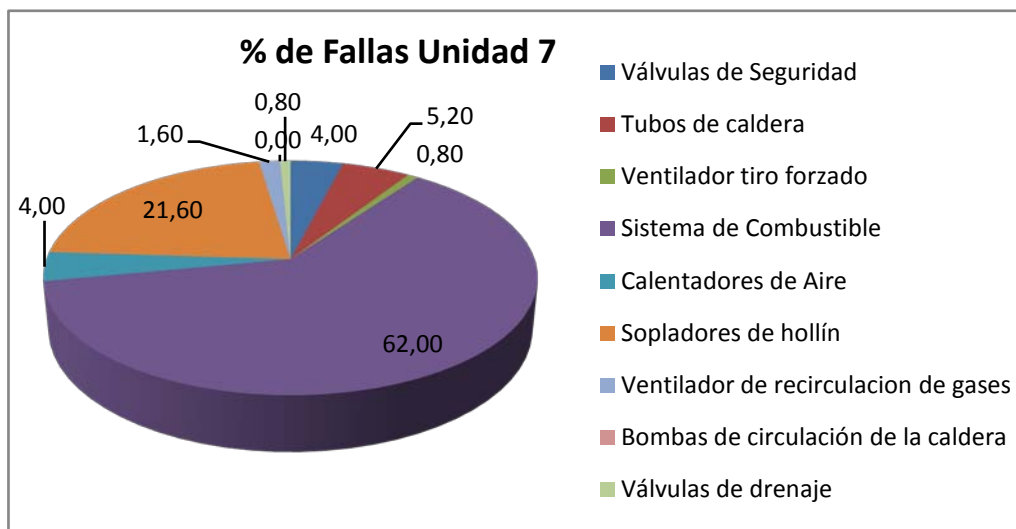


Gráfico 1. Porcentaje de Fallas Unidad 7

El sistema de combustible (petróleo y gas) representa el 62% de las fallas totales en el período mencionado. El 21,6% de las fallas corresponde a los sopladores de hollín. Estos dos componentes son los que más han fallado en el período, pero no implica que sean los más críticos para el sistema. La criticidad será presentada posteriormente.

Unidad 8:

Tabla 14. Porcentaje de fallas Unidad 8

UNIDAD 8	01/01/2007—Octubre de 2008	N° Fallas	%
Válvulas de Seguridad		11	2,46
Tubos de caldera		14	3,13
Ventilador tiro forzado		6	1,34
Sistema de Combustible		341	76,12
Calentadores de Aire		14	3,13
Sopladores de hollín		49	10,94
Ventilador de recirculación de gases		5	1,12
Bombas de circulación de la caldera		3	0,67
Válvulas de drenaje (caldera)		5	1,12
Total de fallas en el período		448	100

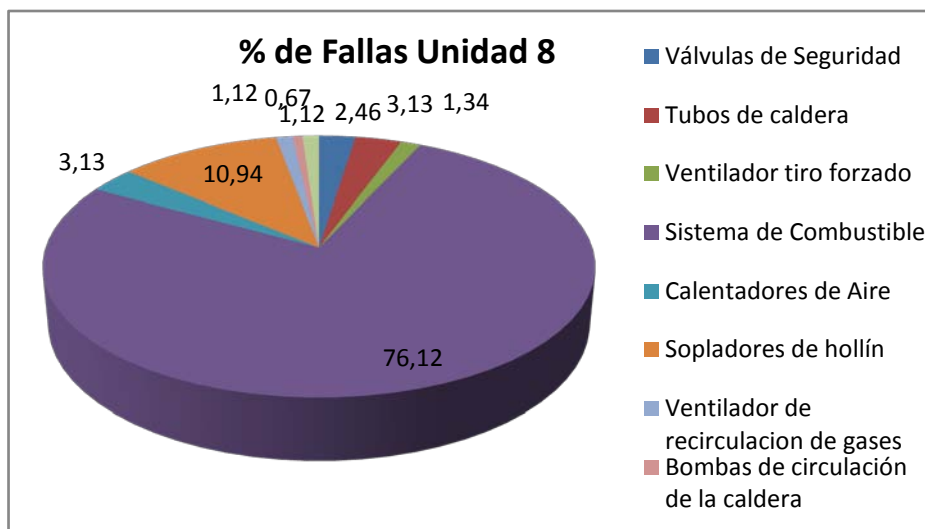


Gráfico 2. Porcentaje de fallas Unidad 8

El sistema de combustible abarca el 76% de las fallas totales del período en esta unidad y el 10,94% corresponde a los sopladores de hollín. Los tubos de caldera representan un 3% de las fallas totales. De las tres unidades, ésta es la que más fallas presentó en el período. La jerarquización de los componentes de acuerdo a su nivel de criticidad se presenta posteriormente.

Unidad 9:

Tabla 15. Porcentaje de Fallas Unidad 9

UNIDAD 9	01/01/2007—Octubre de 2008	N° Fallas	%
Válvulas de Seguridad		13	3,36
Tubos de caldera		17	4,39
Ventilador tiro forzado		11	2,84
Sistema de Combustible		273	70,54
Calentadores de Aire		19	4,91
Sopladores de hollín		44	11,37
Ventilador de recirculación de gases		2	0,52
Bombas de circulación de la caldera		4	1,03
Válvulas de drenaje (caldera)		4	1,03
Total de fallas en el período		387	100

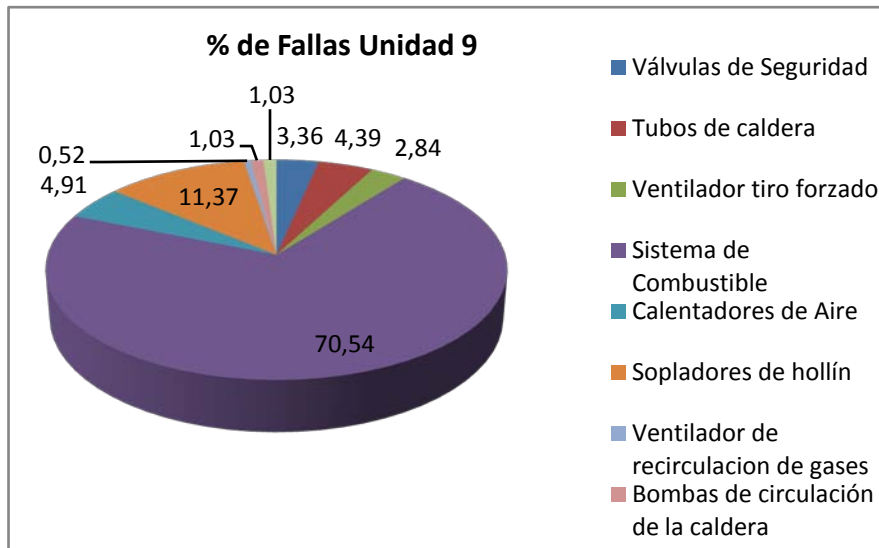


Gráfico 3. Porcentaje de Fallas Unidad 9

El componente que presentó mas fallas durante el período fue el sistema de combustible con un 70,54% de las fallas totales. Seguidamente los sopladores de hollín con 11,37%. Los calentadores de aire representan el 4,91% de las fallas totales. Como se dijo, estos componentes presentan el mayor porcentaje de fallas pero no implica que sean los más críticos. La criticidad depende además de una combinación de factores económicos, técnicos, ambientales y de seguridad.

Se presenta a continuación el histórico de fallas de cada sub sistema en las tres unidades:

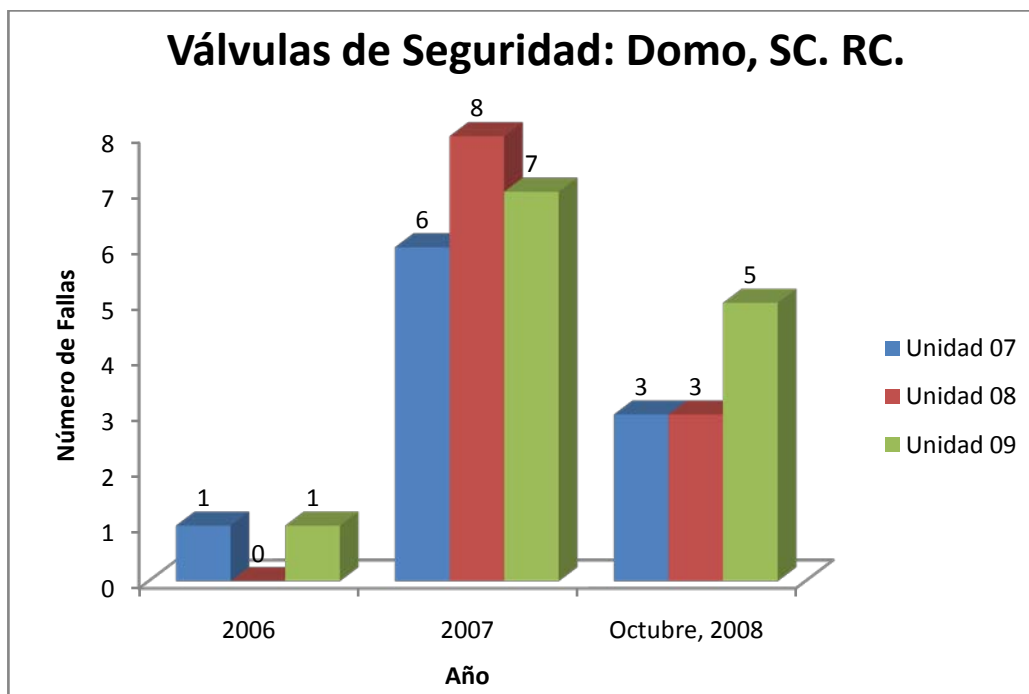


Gráfico 4. Histórico de Fallas Válvulas de Seguridad.

En el gráfico se observa que el año en el cual se presentaron más fallas en las válvulas de Seguridad, en el período analizado, fue el 2007. El número de fallas disminuye a 3 para el 2008 en las unidades 7 y 8 pero es mayor que el del 2006. Resalta el número de fallas en la unidad 9 para el año 2007 (es 7 veces mayor que en el 2006), debido a que en la misma se había realizado, a partir de 15/01/2007 y hasta el 4/03/2007, mantenimiento tipo B. Probablemente exista en el sistema alguna condición que provoque las fallas pero esa condición no se detectó ni se corrigió, aún con el mantenimiento. Hace falta determinar el grado de envejecimiento o de desgaste en las válvulas, el gráfico parece indicar que hay deterioro o existen condiciones operativas adversas. Se requiere igualmente analizar los procedimientos de mantenimiento. Posteriormente se desarrollará el

análisis de modos y efectos de fallos y la revisión de los procedimientos de mantenimiento para las válvulas.

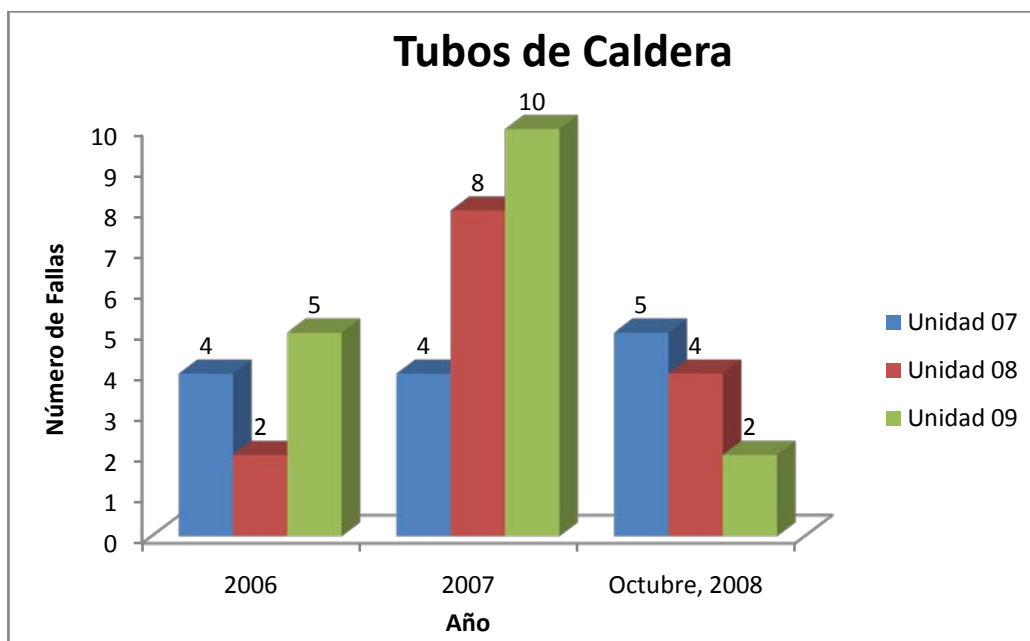


Gráfico 5. Histórico de fallas tubos de caldera.

Los tubos de la caldera son uno de los componentes críticos cuya falla afecta la operación del generador de vapor y deberían operar con una tasa de fallas bastante cercana a cero. En la gráfica se observa un aumento del número de fallas para el 2007 en la unidad 8 de 300% y del 100% para la unidad 9, en comparación con el año 2006. Nuevamente, la unidad 9 no debería presentar este número de fallas debido a que se realizó en ella mantenimiento tipo B a principios del año. Probablemente no se detectaron fallas potenciales o existen condiciones de operación desfavorables tales como la calidad del agua, del combustible, la limpieza externa de los tubos o la eficiencia de la combustión, por mencionar algunas.

La unidad 07 tiene una tendencia creciente a la falla en los tubos lo que hace necesario una revisión de las condiciones operativas y de los procedimientos de inspección y mantenimiento. A pesar de esta situación, se observa una disminución de la tasa de fallas desde el 2007 y hasta Octubre de 2008 para la unidad 8 del 50% y del 80% para la unidad 9. En el caso de la unidad 08 puede deberse a una Revisión Interna ejecutada a partir del 14/12/2007 y en el caso de la unidad 9, puede deberse a las reparaciones ya hechas en el año anterior.

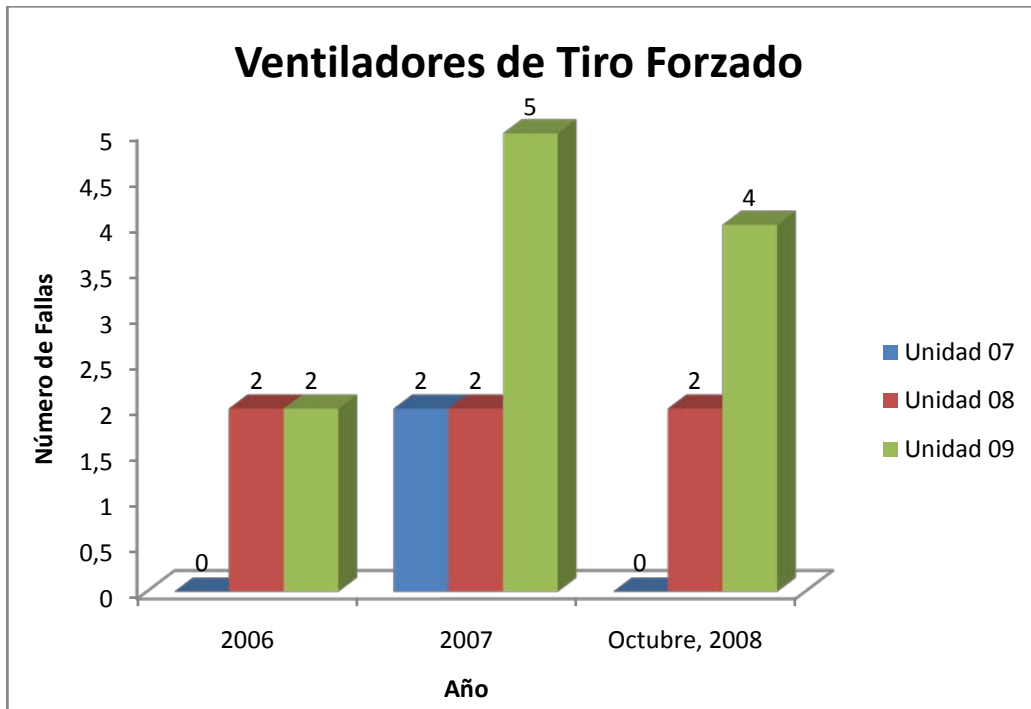


Gráfico 6. Histórico de fallas Ventiladores de Tiro forzado.

La unidad 8 presenta una tasa de falla estable en este período. La unidad 7 se vio afectada únicamente por 2 fallas en el año 2007. La unidad 9 presenta una tendencia a aumentar la tasa de falla en comparación con las otras dos unidades

y para Octubre del 2008 el número de fallas disminuyó solo un 20%. Este hecho obliga a realizar un análisis en el sistema para determinar alguna condición de desgaste, verificar los procedimientos de mantenimiento o bien detectar condiciones operativas desfavorables.

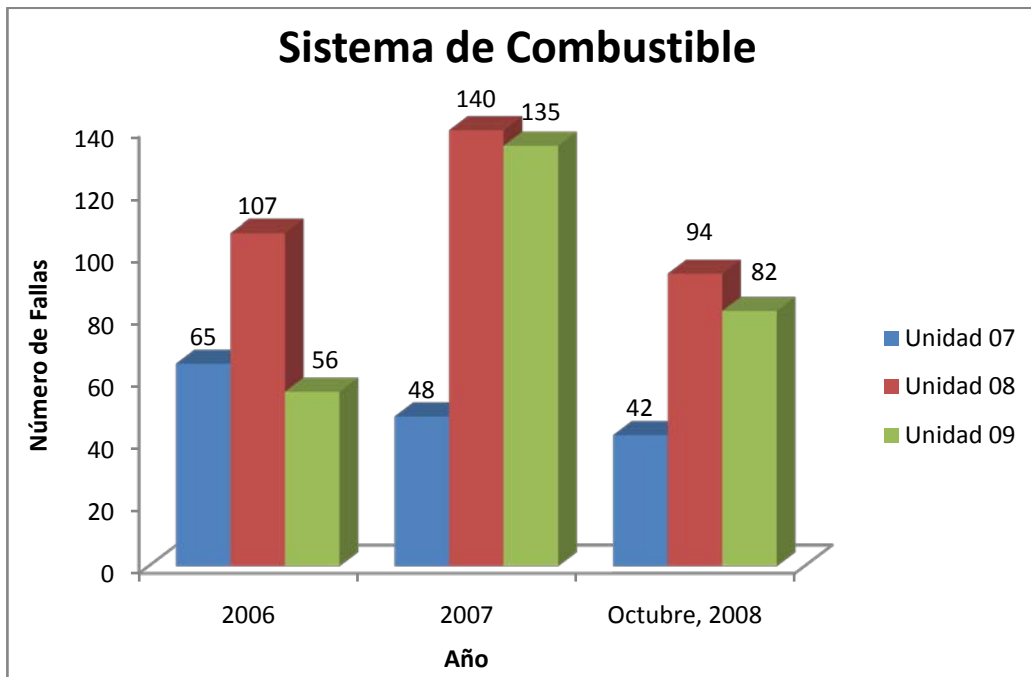


Gráfico 7. Histórico de fallas Sistema de combustible.

El número de fallas para la unidad 7 ha disminuido desde el año 2006 hasta Octubre del 2008 en un 35,38%. La unidad 8 aumenta el número de fallas en 30,84% desde el 2006 hasta el 2007 y luego disminuye un 32,86% desde el 2007 hasta Octubre del 2008. La unidad 9 aumenta en 79 fallas del 2006 al 2007 y disminuye en 53 fallas del 2007 a Octubre del 2008. Para la unidad 8 y 9 el año de mayor número de fallas fue el 2007 pero no se puede, hasta ahora, predecir un comportamiento futuro. Sin embargo, es necesario monitorear el

sistema para alertar un posible aumento en el número de fallas y, claro está, reducirlo.

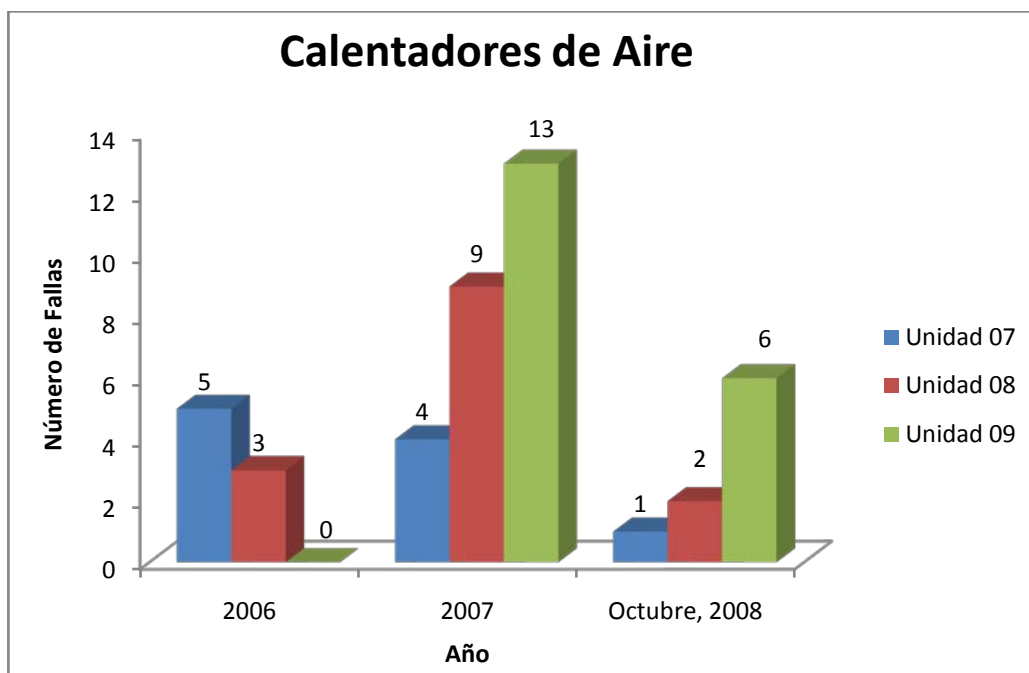


Gráfico 8. Histórico de fallas Calentadores de Aire.

La unidad 7 disminuye progresivamente el número de fallas desde el 2006 hasta Octubre del 2008 en un 20%. La unidad 8 presenta un aumento del 2006 al 2007 de 6 fallas pero disminuye en un 78% del 2007 hasta Octubre del 2008 cuando se verificaron sólo 2 fallas. El año de mayor número de fallas para la unidad 9 fue el 2007 con 13 eventos, ya para Octubre del 2008 disminuye a 6.

Es necesario analizar las causas de estas fallas e intentar erradicarlas.

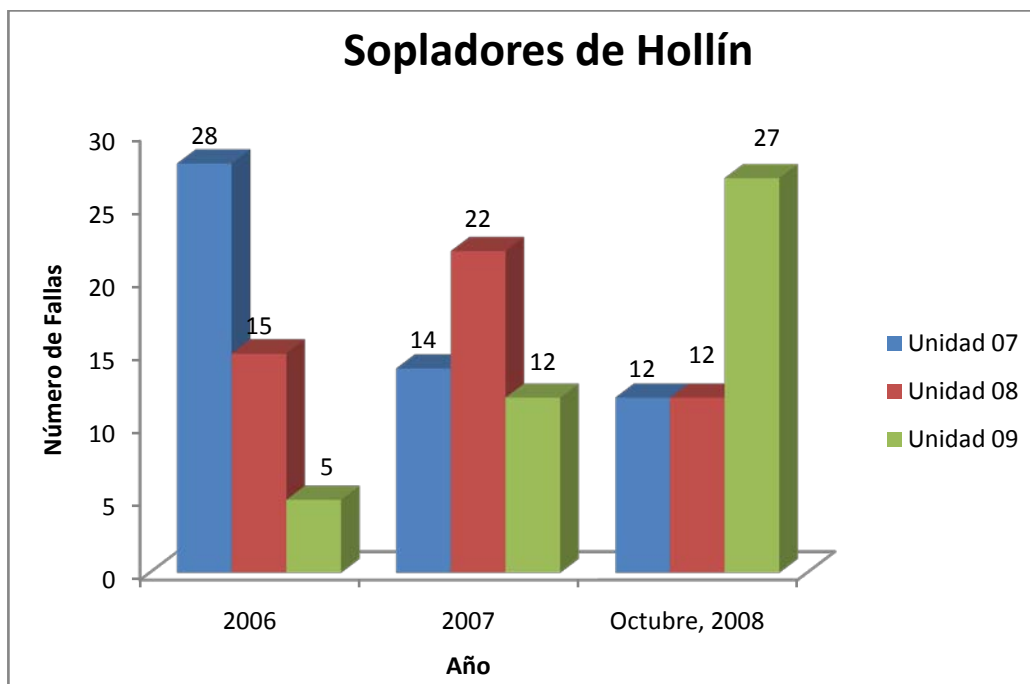


Gráfico 9. Histórico de fallas Sopladores de Hollín.

El número de fallas en la unidad 7 ha disminuido, desde el 2006 hasta Octubre del 2008, de 28 a 12 fallas. Esto puede indicar que se está recuperando el sistema y que las labores de mantenimiento han sido enfocadas correctamente. En la unidad 7 se observa un aumento en el 2007 y luego una mejora para Octubre del 2008 en comparación con los años anteriores. La tendencia de la unidad 9 es creciente, lo que obliga a realizar una revisión del sistema y determinar las causas de las fallas.

Los sopladores de hollín mantienen limpia de escoria la superficie externa de los tubos de caldera y se esperaría que la disminución de las fallas se traduzca en una mejora en la transferencia de calor y en el rendimiento de los tubos. En este caso, o en este período de estudio, esa relación no parece cumplirse, por lo menos para las unidades 7 y 9, lo que hace pensar que las fallas en los tubos

podrían tener otro origen. Es decir, los Sopladores de Hollín cumplen su función pero los tubos siguen fallando (unidad 7), o los Sopladores de Hollín fallan pero la tasa de tubos rotos disminuye (unidad 9). Sólo en la unidad 8 parece haber una relación consistente. En todo caso, para ambos sistemas, es necesario un análisis de modos y efectos de fallas y una revisión de los procesos de mantenimiento como mínimo.

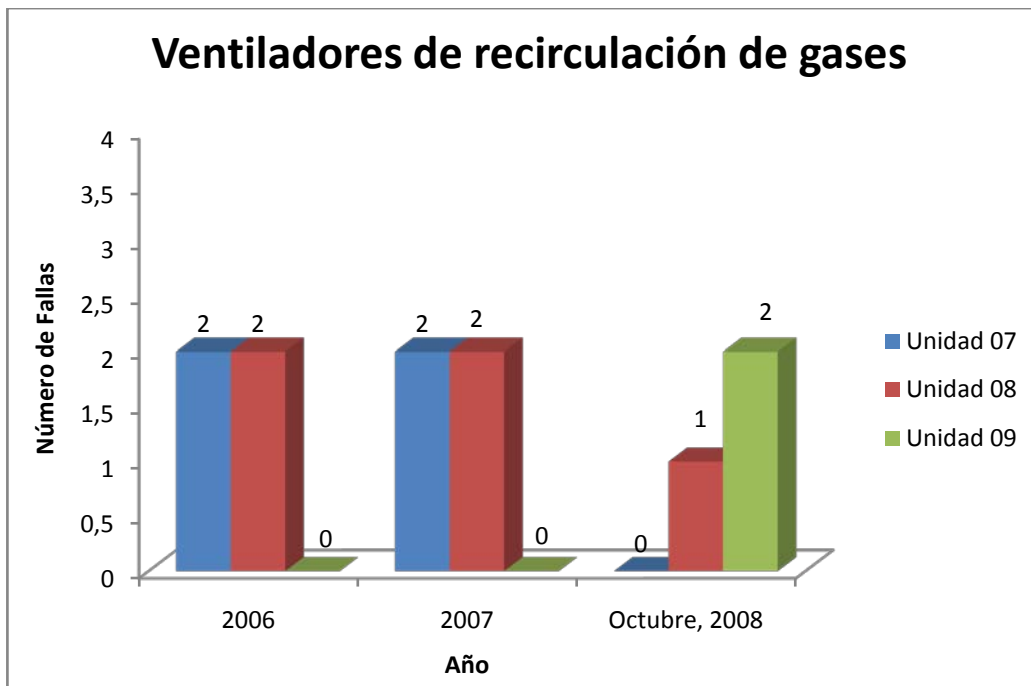


Gráfico 10. Histórico de fallas Ventiladores de recirculación de gases.

Las unidades 7 y 8 presentan una tendencia a disminuir el número de fallas para Octubre de 2008, pero en la unidad 9 este número aumenta. Sin embargo, basado en el histórico de las unidades 7 y 8, el aumento de fallas en la unidad 9 no representa un estado de alarma. A pesar de este hecho, es necesario el continuo monitoreo del sistema.

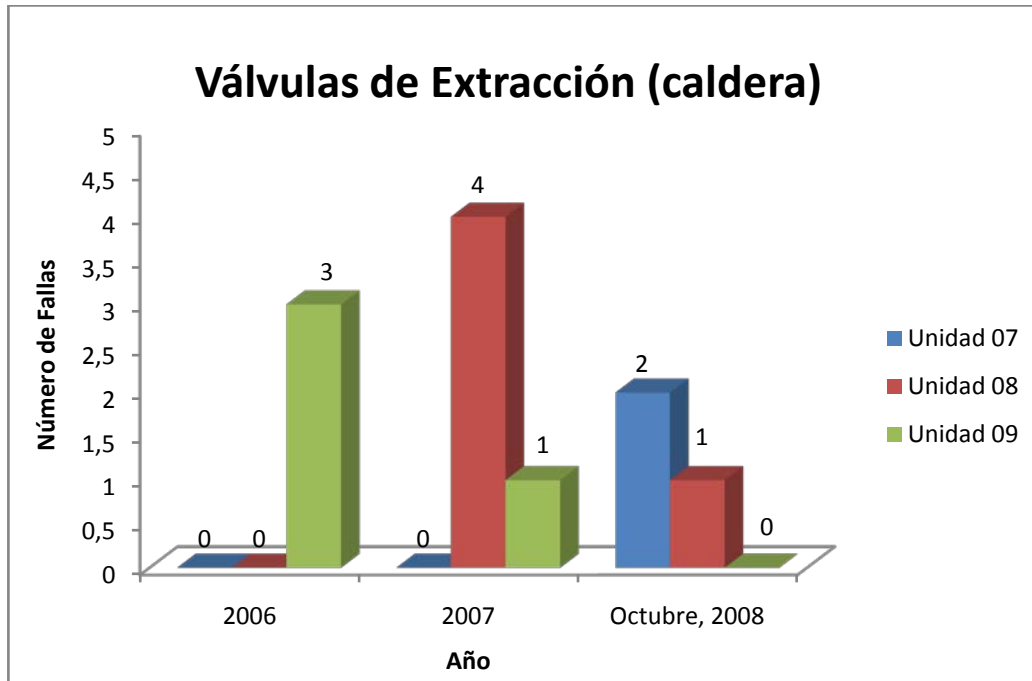


Gráfico 11. Histórico de fallas Válvulas de Extracción de la caldera.

La unidad 7 tiene tendencia a aumentar las fallas lo que hace pensar en un posible deterioro del sistema. En la unidad 9 hay una disminución, desde el 2006 hasta Octubre del 2008, de 3 a 0 fallas que posiblemente se deba al mantenimiento tipo B a principios del 2007. La unidad 8 presenta un aumento a 4 fallas en el 2007 y una disminución a una falla hasta Octubre del 2008, es posible que haya un deterioro progresivo de las válvulas en esta unidad.

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Se presentan los gráficos correspondientes a los resultados del análisis de criticidad para los componentes de los generadores de vapor.

Generador de Vapor. Unidad 7

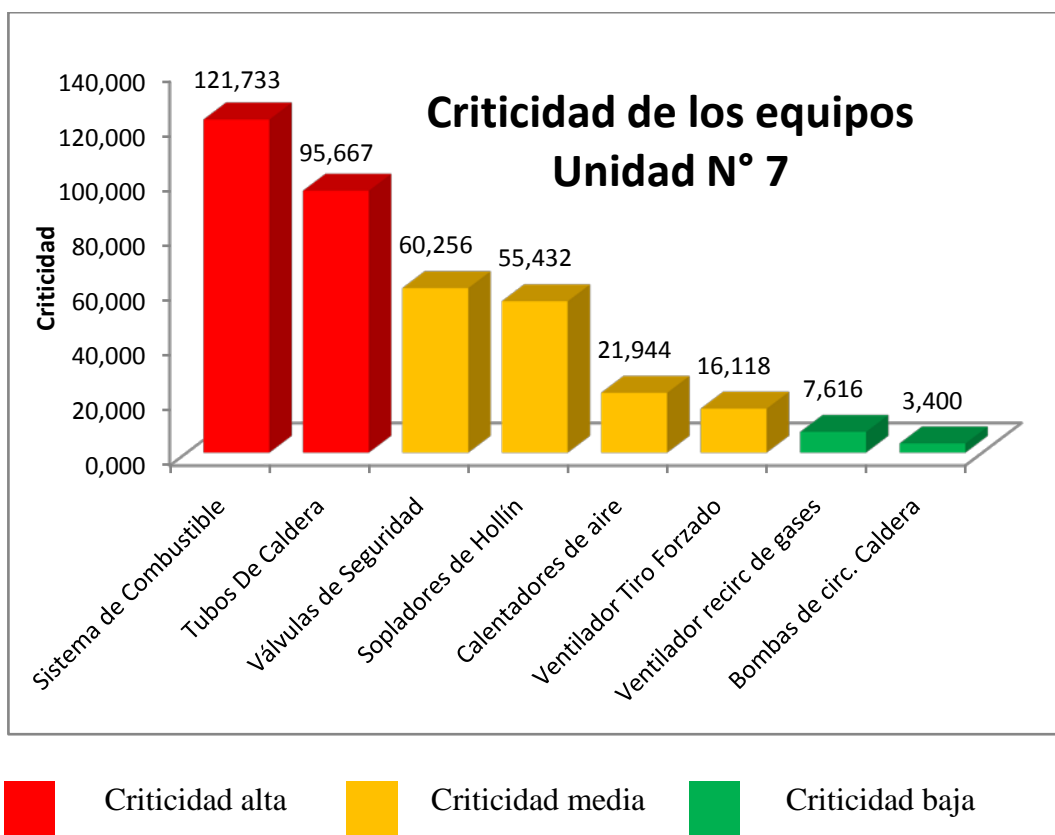


Gráfico 12. Resultado del Análisis de Criticidad. Generador de Vapor Unidad 7

EQUIPO	GRADO DE CRITICIDAD
Sistema de Combustible	121,733
Tubos De Caldera	95,667
Válvulas de Seguridad	60,256
Sopladores de Hollín	55,432
Calentadores de aire	21,944
Ventilador Tiro Forzado	16,118
Ventilador de recirculación de gases	7,616
Bombas de circulación. Caldera	3,400

En esta unidad el componente más crítico resultó ser el sistema de combustible con una criticidad de 121,733. En segundo lugar los tubos de la caldera con 95,667. El equipo con criticidad media más cercano al rango de alta criticidad son las válvulas de seguridad con una criticidad de 60,256. Esto quiere decir que el equipo que más está impactando la operación del generador de vapor de la unidad 7 es el sistema de combustible y hacia éste debe estar orientada la mayor parte de las acciones de mantenimiento, los análisis y el monitoreo constante. Seguidamente, los tubos de la caldera merecen especial atención. El hecho de que el sistema de combustible se ubique en primer lugar se debe a la cantidad de fallas en el período de un año, aunque se sabe que una falla en los tubos de la caldera genera una parada inmediata de toda la unidad generadora. Las fallas en el sistema de combustible incluyen sistema de gas y de petróleo junto con válvulas, quemadores, mangueras, actuadores, líneas, bombas de petróleo, reguladores de gas, etc. Posiblemente el hecho de agrupar las fallas de estos sistemas (petróleo y gas), provocó que los tubos de caldera quedaran en segundo lugar. Si se hubiese separado, es posible que los tubos pasaran al

primer lugar y los sistemas de combustible al segundo y tercer lugar. Esta posibilidad se repite en las demás unidades.

Generador de Vapor. Unidad 8

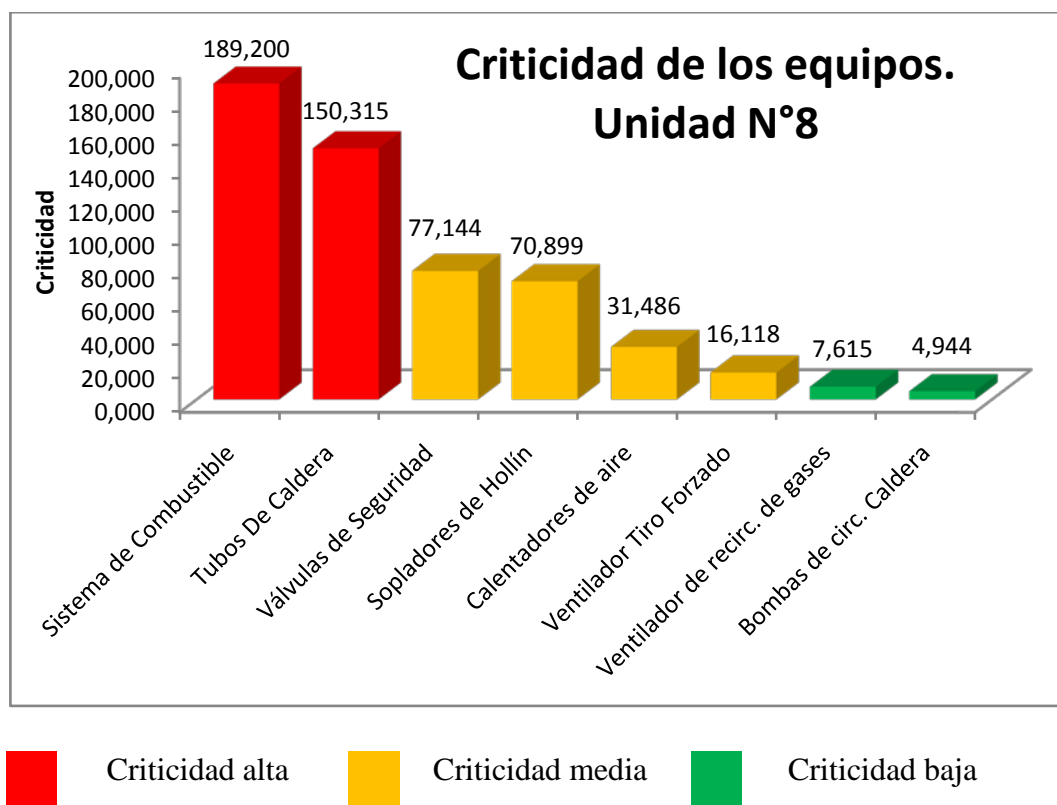


Gráfico 13. Resultado del Análisis de Criticidad. Generador de Vapor Unidad 8

EQUIPO	GRADO DE CRITICIDAD
Sistema de Combustible	189,200
Tubos De Caldera	150,315
Válvulas de Seguridad	77,144
Sopladores de Hollín	70,899
Calentadores de aire	31,486
Ventilador Tiro Forzado	16,118
Ventilador de recirculación de gases	7,615
Bombas de circulación. Caldera	4,944

En la Unidad 8 el componente crítico resultó ser el sistema de combustible y el segundo componente crítico los tubos de caldera. Seguidamente se ubican las válvulas de seguridad con una criticidad media. El análisis desarrollado para la unidad 7 aplica igualmente en este caso. Hay que notar que el grado de criticidad del sistema de combustible y en general de todos los equipos es mayor que en la unidad 7. Esta diferencia se debe al aumento en el número de fallas que se presentan y a las ponderaciones de cada ítem de la encuesta realizada.

Generador de Vapor. Unidad 9

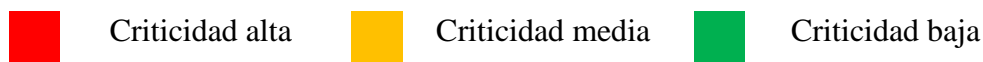
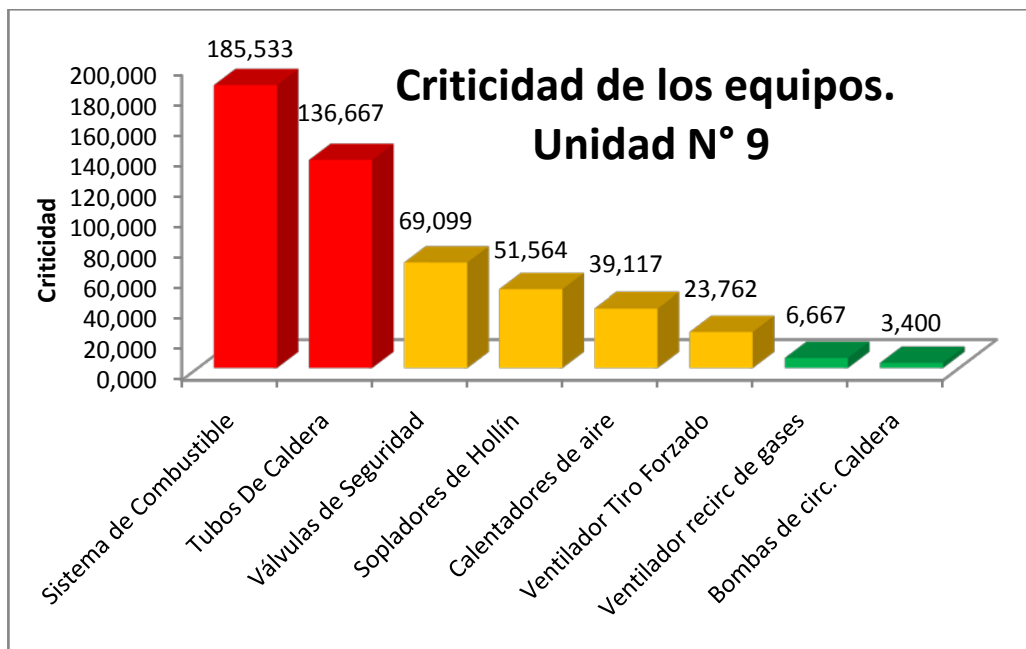


Gráfico 14. Resultado del Análisis de Críticidad. Generador de Vapor Unidad 9

EQUIPO	GRADO DE CRÍTICIDAD
Sistema de Combustible	185,533
Tubos De Caldera	136,667
Válvulas de Seguridad	69,099
Sopladores de Hollín	51,564
Calentadores de aire	39,117
Ventilador Tiro Forzado	23,762
Ventilador recirculación de gases	6,667
Bombas de circulación. Caldera	3,400

El componente crítico principal es el sistema de combustible seguido de los tubos de la caldera. El análisis desarrollado para la unidad 7 aplica igualmente en esta unidad. Aquí el grado de criticidad máxima disminuye en comparación con la unidad 8. Como se dijo antes, se debe a la variación en el número de fallas de los componentes para cada unidad.

Se observa que para las tres unidades los equipos que resultaron críticos son semejantes y en el mismo orden: Sistema de combustible y tubos de la caldera. Además, el primer equipo de mediana criticidad son las válvulas de seguridad, para las tres unidades. En estos tres equipos es donde debe tenerse mayor atención en el mantenimiento, concentrar el análisis de modos y efectos de falla, hacer la revisión de los procedimientos de mantenimiento y priorizar la inversión en nuevas tecnologías para optimizar esos procedimientos. Este Trabajo Especial enfoca los análisis principalmente hacia las válvulas de seguridad del Domo, Sobrecalentador y Recalentador.

RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO

Procedimientos Administrativos

- Existen órdenes de mantenimiento que se identifican como órdenes de mantenimiento preventivo (OMG2) y la ejecución corresponde a un procedimiento de mantenimiento correctivo. Este hecho provoca que al

momento de filtrar las órdenes de mantenimiento por categorías (preventivas o correctivas), se adquiriera una relación errónea.

- En el momento de ingresar la información de las órdenes de mantenimiento en el sistema SAP, no se coloca completamente la ubicación técnica del equipo. Al momento de listar las ordenes por ubicación técnica, muchas órdenes quedan excluidas y no se adquiere la información completa.
- En la mayoría de las órdenes no se utilizan los campos referidos a la fecha de inicio real ni la hora de inicio real, la fecha de finalización real ni la hora de culminación real del trabajo. Se entiende que esta información es ingresada de forma aproximada, pero es una información útil si se desea conocer indicadores tales como Tiempo Medio para Reparar, Tiempo Medio para Fallar, la Intensidad o Rata de Falla, Confiabilidad, Disponibilidad.
- La información de las características técnicas de los equipos debe ser revisada y actualizada.

Procedimientos de inspección rutinarios

- La observación principal referente a los procedimientos rutinarios consiste en que en la planilla de inspección no se reflejan los datos necesarios para el monitoreo de la condición. Existen dos casillas donde se marca “Condición buena” o “Condición mala” pero en ningún caso hay un campo destinado al registro de variables para el control. Es

necesario implementar sistemas de monitoreo que además cuantifique la condición.

- No se especifica que puntos o qué condiciones se deben inspeccionar en los equipos. Si bien esta actividad se realiza basada en la experiencia del operador, es importante que se detallen las actividades para evitar que alguna condición que pudiera resultar crítica se pase por alto.

Procedimientos técnicos de mantenimiento

Como se indicó en la metodología, los procedimientos técnicos estudiados se limitan a las válvulas de seguridad del Domo, el Sobrecalentador y el Recalentador. Las observaciones referentes a los procedimientos de mantenimiento son:

- Se observó que en los procedimientos descritos en la información técnica que posee la empresa para las válvulas, no se especifica la toma de medida de la dimensión “A” requerida para rearmar la válvula y verificar la correcta apertura o elevación. (Ver gráfico a continuación). Las posiciones del tope de apertura y collar del disco son medidas antes de desarmarse, sin embargo, cuando una válvula ha fallado estas posiciones pueden sufrir modificaciones. Además, a lo largo del período en que la válvula ha recibido mantenimiento, los errores de medición se acumulan.

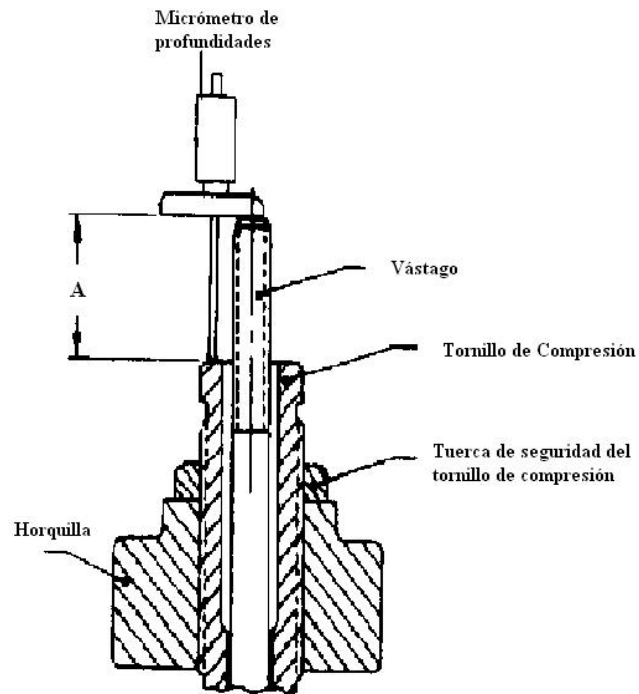


Figura 18. Determinación de la dimensión A en el vástago

- Se observó que en los procedimientos técnicos de la empresa no se especifica la holgura máxima entre el porta disco y la guía. Según el manual debe medirse esta holgura

Tabla 16. Holgura Máxima del Porta disco y su guía

TAMAÑO DEL ORIFICIO	TEMPERATURA	HUELGO MAX. [in]
#1	Hasta 750 °F	0,005
	Sobre 750°F	0,008
#2	Hasta 750 °F	0,008
	Sobre 750°F	0,012
#3	Hasta 750 °F	0,010
	Sobre 750°F	0,015
#4	Hasta 750 °F	0,012
	Sobre 750°F	0,018
#5	Hasta 750 °F	0,011
	Sobre 750°F	0,017
#6	Hasta 750 °F	0,016
	Sobre 750°F	0,016
#7	Hasta 750 °F	0,020
	Sobre 750°F	0,020
#Q	Hasta 750 °F	0,020
	Sobre 750°F	0,020
#8	Hasta 750 °F	0,020
	Sobre 750°F	0,020
#R	Hasta 750 °F	0,020
	Sobre 750°F	0,020

- En el procedimiento de inspección de la información técnica que se encuentra en planta se especifica que si el asiento del disco móvil tiene un alivio de **0.003** in o menos, se debe cambiar el disco. Al verificar esta información en el manual Consolidated para el modelo 1700-S-1 se encontró que no se encuentra definida esta especificación. Al revisar el manual del fabricante para los modelos 1700-S-2 se halla especificado el alivio mínimo, en pulgadas, de la siguiente manera:

Tabla 17. Alivio del asiento móvil.

ALIVIO MÍNIMO DEL ASIENTO MÓVIL	
ORIFICIO	M (MIN.) [in]
1	0,004
2	0,005
3	0,006
4	0,008
5	0,007
6	0,010
7	0,012
Q	0,012
8	0,012
R	0,012

Significa que si la válvula es de diseño S-2, el alivio varía según el orificio. Si la información del manual ubicado en planta se está aplicando, probablemente los asientos se estén dejando con un alivio menor a lo indicado y esto pudiera causar fugas de vapor o un cierre inadecuado de las válvulas.

- Se observó que en el procedimiento de inspección en la información que se encuentra en planta, se especifica que el asiento fijo debe tener un paso (alivio) de 0,025 in y si es reducido hasta 0,01 in, se debe remover la válvula para maquinado, además si se reduce hasta 0,003 in y se ha rectificado anteriormente se debe cambiar la válvula. Este procedimiento es válido solo para las válvulas 1700-S-1 ya descontinuadas. La información de la medida crítica 0.003 in no se encuentra en el manual del fabricante.

En el manual del fabricante, para los modelos 1700-S-2, el procedimiento es como sigue:

Se puede maquinar el asiento del buje para restablecer la dimensión E si ésta ha sido reducida hasta **0,01in** para los orificios 9, 1, 2, K, 3, **5 y 4** ó menos de **0,03** in para los orificios 6, 7, **8**, R y RR.

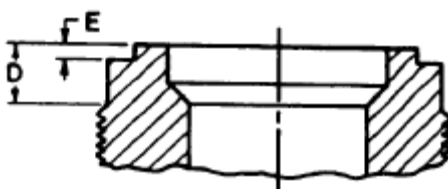


Figura 19. Alivio del asiento fijo.

Además se establece una dimensión crítica K en pulgadas para el reemplazo del buje:

Tabla 18. Dimensión crítica para reemplazo del cuerpo de válvula.

Tipo de Válvula	Dimensión Crítica K (Máx.) [in]
#1	3-1/16
#2	3-13/16
17.35, 36, 37	4- 7/8
17.38, 39, 30	5-11/16
#4	5-11/16
#5	5-11/16
#6	4-3/4
#7	5-9/16
#Q	5-9/16
#8	5-9/16
#R	5-9/16
1706RXHPI	
y	7-9/16
Sólo 1707R	

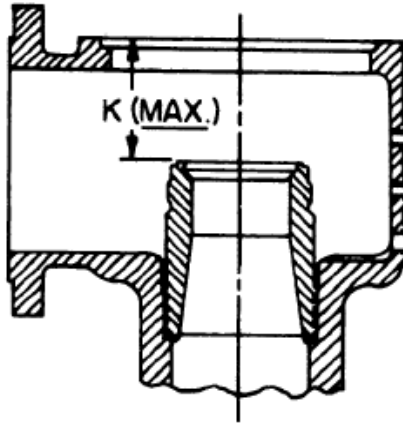


Figura 20. Dimensión crítica K en el cuerpo de la válvula.

- Se encontró que en el manual que posee la planta para los procedimientos de mantenimiento en las válvulas de seguridad, se especifica que la concentricidad del vástago no debe exceder de 0,003 in en la parte inferior. La información es correcta para las válvulas de diseño S1 (descontinuadas). Para las de diseño 2-S la concentricidad no debe exceder de 0,007 in.
- El manual especifica un valor de torque para las tuercas de las varillas de la horquilla y para las tuercas de la placa cubierta. Es necesario ajustar a estos valores o de lo contrario se podría producir desalineación o deformaciones.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF).

El resultado final del análisis de modos y efectos de fallas se presenta a continuación. La fase inicial del análisis se detalla en el Capítulo IV Metodología.

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 1

AMEF				Hoja 1/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Asientos: móvil (Disco) y fijo (Buje)	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
1) Por debajo de la presión de disparo: proporcionan el sello necesario para que el fluido no escape a través de la válvula.	a) No se mantiene el contacto entre el asiento fijo y móvil.	a.1) Superficie de los asientos escariada.	a.1.1) Partículas sólidas en el fluido/ Corrosión.	a.1) Fuga de fluido
		a.2) Espesor de los asientos por debajo del mínimo recomendado.	a.2.1) Desgaste debido al acabado superficial (Lapeado).	a.2) Cambios en la presión de disparo.
		a.3) Superficie de los asientos irregular.	a.3.1) Error en el proceso de lapeado.	a.3) Fuga de fluido
		a.4) Asientos deformados	a.4.1) Gradientes de temperatura y/o traqueteo Partes desalineadas producto de vibraciones.	a.4) Fuga de fluido/ Cambios en la presión de disparo.

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 1, Cont.

AMEF				Hoja 1/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Asientos: móvil (Disco) y fijo (Buje)	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
2) Por encima de la presión de disparo: El asiento móvil se separa del fijo para permitir el flujo y aliviar la presión.	a) El asiento móvil no se separa del asiento fijo.	a.1) Asientos adheridos entre si.	a.1.1) Gradientes de temperatura y/o traqueteo. a.1.2) Partes desalineadas a.1.3) Material de los asientos errado. a.1.4) Error al elegir repuesto del disco.	Cambios en la presión de disparo (aumenta)/ Falla catastrófica del recipiente a presión.

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 2.

AMEF				Hoja 2/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Cuerpo de Válvula	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
1) Contener las partes de la válvula	a) Imposibilidad de contener las partes. Colapso de la válvula.	a.1) El cuerpo de la válvula se agrieta	a.1.1) Fatiga por vibraciones/ a.1.2) Defecto de fabricación y/o material de construcción	a.1) Desalineación de los elementos de la válvula. Fugas. Pérdida de presión del sistema.

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 2, Cont.

AMEF				Hoja 2/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Cuerpo de Válvula	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
		a.2) Reducción del espesor de pared	a.1.1)Fatiga por vibraciones/ a.1.2)Defecto de fabricación y/o material de construcción a.2.1) Corrosión, ataque químico, Erosión por partículas sólidas	a.2) Los componentes no pueden ser soportados y se pierde la integridad de la válvula provocando fuga total del fluido. Pérdida de presión del sistema.
2) Dirigir el fluido desde la entrada hasta la tubería de descarga.	a)El fluido no escapa por la tubería de descarga	a.1) Grietas en el cuerpo de la válvula. a.2) Superficies escariadas.	a.1.1)Fatiga por vibraciones/ Defecto de fabricación a.2.1)Corrosión, ataque químico, erosión por partículas sólidas.	a.1) Desalineación de los elementos. Fugas. Esfuerzos de flexión sobre partes que no han sido diseñadas para tal fin. a.2) Desgaste, erosión, corrosión. Fugas de fluido. Se aplican esfuerzos de flexión.

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 3.

AMEF				Hoja 3/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Vástago	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
1) Transmitir la fuerza del resorte sobre el asiento móvil (Disco)	a) Incapaz de transmitir la fuerza del resorte al Disco.	a.1)Atascamiento lateral	a.1.1)Vástago doblado por sobre bloqueo	Produce que la válvula no tenga una apertura total o que no cierre completamente.
2) Soportar el asiento móvil (Disco)	a) No soporta adecuadamente al Disco	a.1)Disco atascado en la nariz del vástago. El disco no gira.	a.1.1)Ancho de banda de apoyo fuera de lo especificado según el tamaño de orificio	Cuando la válvula cierra, produce daños en las superficies de los asientos con la consecuente fuga de fluido.

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 4.

AMEF				Hoja 4/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Anillo de ajuste superior	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
1) Controla la evacuación de la válvula	a) No hay evacuación o la válvula no abre totalmente b) Evacuación excesiva c) Traqueteo	a.1) Anillo superior muy alto b.1) Anillo superior muy bajo c.1) Anillo superior demasiado arriba	Error en la medición de la posición inicial del anillo / Error en la determinación de la posición del anillo según el modelo / Error de instalación/ falla del pasador del anillo	a.1) El sistema es incapaz de liberar la cantidad de fluido requerida. b.1) Pérdida innecesaria de fluido/ Erosión de los asientos. c.1) Daño en las superficies de los asientos.

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 5.

AMEF				Hoja 5/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Anillo de ajuste inferior	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
1) Controla la apertura y cierre de la válvula	a) Acuñaamiento, o la válvula no cierra completamente b) Borboteo: escape del fluido a una presión estática de entrada por debajo de la presión de disparo	a.1) Anillo inferior muy alto. b.1) Anillo inferior muy bajo.	Error en la medición de la posición inicial del anillo / Error en la determinación de la posición del anillo según el modelo / Error de instalación/ falla del pasador del anillo	Pérdida de la presión del sistema/ pérdida de fluido/ Erosión en las superficies de los asientos.

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 6.

AMEF				Hoja 6/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Pasadores de los anillos de ajuste	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
1) Mantener en su posición a los anillos de ajuste	a) Incapaces de mantener sujetos los anillos.	a.1) Cizallamiento del pasador. a.2) Deslizamiento del pasador entre las muescas de los anillos.	a.1.1) Fatiga debido a oscilación de los anillos. a.1.2) Fatiga térmica. a.2.1) Amolado excesivo del extremo del pasador	Pérdida de la posición de los anillos y pérdida del control de evacuación de la válvula.

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 7.

AMEF				Hoja 7/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Soporte del Disco	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
1) Proporcionar soporte para que el disco oscile.	a) No permite que el disco oscile	a.1) Excoriación. a.2) Deformación en el extremo más cercano al disco	a.1.1) Erosión causada por el vapor o por partículas sólidas en el vapor. a.2.1) Traqueteo	Atascamiento del disco/ Deformación de las superficies de los asientos, fugas

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 7, Cont.

AMEF				Hoja 7/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Soporte del Disco	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
2) El soporte del disco, junto con la guía, dan estabilidad al movimiento axial de los componentes de la válvula.	a) Pérdida del movimiento axial de la válvula.	a.1) Excoriación. a.2) Diámetro exterior ovalado	a.1.1) Erosión causada por el vapor o por partículas sólidas en el vapor. a.2.1) Holgura entre el porta disco y la guía fuera de lo especificado según el tamaño de orificio de la válvula.	Atascamiento del soporte del disco/ La válvula no abre o no cierra correctamente/ fugas.
3) Proporcionar empuje adicional para el cierre preciso de la válvula. (Principio de contrapresión)	a) No proporciona el empuje adicional para el cierre de la válvula.	a.1) Obstrucción de los agujeros del portadisco	a.1.1) Contaminación del vapor a.1.2) Corrosión a.1.3) Deformación	Mayor tiempo de elevación de la válvula. Este tiempo no ha sido cuantificado, depende del grado de obstrucción.

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 8.

AMEF				Hoja 8/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Placa Cubierta	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
1) Proporciona la recámara en la cual se aloja el vapor que se utiliza durante el cierre según el principio de contrapresión.	a) Pérdida de la recámara necesaria para alojar el vapor.	a.1) Perforaciones, grietas o deformación de la placa cubierta. a.2) Deformación de las arandelas flotantes y los retenedores.	a.1.1) Corrosión a.1.2) Erosión a.1.3) Torque mayor a 50 lb/pie en las tuercas de la placa a.2.1) Corrosión a.2.2) Rasgadura a.2.3) Picadura a.2.4) Excoriación	Fuga de vapor/ Pérdida de control de la evacuación y la carrera de la válvula.
2) Permite el venteo hacia la atmósfera del vapor usado para la contrapresión.	a) No se realiza el venteo	a.1) Acumulación de condensado dentro de la placa cubierta y dentro de la válvula.	a.1.1) Obstrucción de la tubería de venteo a.1.2) Cambios en el diámetro de la tubería de venteo	Corrosión/ Pérdida de control de la evacuación y la carrera de la válvula.

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 9.

AMEF				Hoja 9/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Resorte	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
1) Provee la fuerza necesaria para mantener cerrada la válvula.	a) Incapaz de mantener cerrada la válvula b) Incapaz de mantener la presión de disparo en un valor establecido	a.1) Rotura del resorte. b.1) Pérdida de la constante del resorte.	a.1.1) Fatiga a.1.2) Corrosión b.1.1) Envejecimiento producido por la fluencia.	a)Apertura total de la válvula b)Apertura de la válvula a una presión menor a la calibrada/Disparos recurrentes

Tabla 19. AMEF Válvulas de seguridad, hoja 10.

AMEF				Hoja 10/10
		Sistema	Generador de Vapor	
		Sub Sistema	Válvulas de seguridad 1700-S	
		Componente	Drenaje del cuerpo	
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa potencial de falla	Efecto de falla
1) Canalizar el condensado que pueda quedar dentro del cuerpo de la válvula hasta un lugar seguro.	a) No desaloja el condensado del cuerpo de la válvula.	a.1) Acumulación de condensado dentro de la válvula	a.1.1) Drenaje o tubería obstruidas	Oxidación del cuerpo, la base o la tubería de entrada/
	b) El condensado no es desalojado a un lugar seguro.	b.1) Acumulación de condensado en áreas cercanas a la válvula.	b.1.1) Drenaje o tubería partidas	El condensado puede afectar a otros equipos cercanos.

Al analizar la matriz de modos y efectos de fallas se pueden observar las causas que generan las fallas. A partir del AMEF es posible enumerar algunos métodos adicionales que actúen sobre esas causas de falla, o bien, proporcionen un monitoreo de la condición del componente a fin de intervenirlo antes de que la falla aparezca. Se presentan algunos de esos métodos. Posteriormente se amplía la información para algunos de estos sistemas.

Termografía Infrarroja

Con la Termografía Infrarroja se pueden detectar fugas internas entre los asientos midiendo el diferencial de temperatura en la superficie de la válvula. Este método es útil cuando la tubería de salida de la válvula no es accesible visualmente o cuando la tubería de venteo está conectada a un drenaje y la válvula no es de fácil acceso. Los períodos recomendados de inspección,

basados en aplicaciones similares, son intervalos de seis meses al inicio del programa de inspección y luego se pueden ir distanciando dependiendo de los resultados del monitoreo de las fallas, (EPRI, 2001).

Ultrasonido

Mediante el ultrasonido se puede detectar el escape de vapor entre los asientos de la válvula. Al igual que el método anterior, es útil cuando no se puede verificar visualmente el escape de vapor por la tubería de venteo o por el drenaje del cuerpo. El equipo se puede usar para monitorear otros sistemas como trampas de vapor o cojinetes. Los intervalos de inspección son similares a los de la termografía infrarroja.

Pruebas con Hydroset / EVT

El Hydroset o el EVT (electronic valve tester), son dispositivos que permiten determinar la presión prefijada de la válvula sin necesidad de interrumpir la operación del sistema. Posteriormente se describirá con más detalle estos dispositivos.

Reseating Machine

Es una herramienta diseñada para restaurar las dimensiones críticas del asiento fijo, sin necesidad de remover la válvula del sistema.

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA LOS GENERADORES DE VAPOR

Los datos utilizados para el cálculo corresponden al año 2007 lo que significa que los resultados presentados son válidos sólo para ese año en particular. La probabilidad para años futuros podría obtenerse si se utilizan datos anteriores y posteriores a este estudio, de esta manera se mejoraría el ajuste de las distribuciones de probabilidad.

a) Unidad 7:

A continuación se muestra la data que se ingresa al software Weibull++7 para ser analizada. El intervalo de tiempo es de un año.

Tabla 20. Datos de Fallas y Eventos Unidad 7.

UNIDAD 07					
Fecha inicio	Hora inicio	Fecha fin	Hora fin	Falla/Evento	TFS [h]
18/01/2007	19:53	21/01/2007	18:25	F	70,53
14/03/2007	00:26	17/03/2007	14:03	E	85,62
06/04/2007	00:05	06/04/2007	01:17	E	1,20
19/05/2007	01:54	22/05/2007	05:48	E	75,90
14/06/2007	14:50	21/06/2007	20:40	F	173,83
22/06/2007	19:29	04/07/2007	12:17	F	280,80
04/07/2007	21:42	07/07/2007	02:30	F	52,80
07/07/2007	12:44	08/07/2007	09:26	F	20,70
15/08/2007	22:54	21/08/2007	14:11	F	135,28
21/08/2007	16:13	21/08/2007	17:17	F	1,07
31/08/2007	16:08	31/08/2007	19:13	E	3,08
31/08/2007	19:33	31/08/2007	20:31	F	0,97
31/08/2007	20:52	31/08/2007	21:47	F	0,92
31/08/2007	23:06	01/09/2007	14:18	F	15,20
03/09/2007	14:10	30/09/2007	17:38	F	651,47
03/10/2007	21:09	06/10/2007	21:14	F	72,08
30/10/2007	22:54	31/10/2007	06:05	F	7,18
23/11/2007	23:51	25/11/2007	13:45	F	37,90
17/12/2007	13:09	31/12/2007	23:59	E	346,83

Resultados del cálculo:

Tabla 21. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Confiabilidad Unidad 7.

Resultados de las Fallas		
Distribución	Parámetro 1 (β)	Parámetro 2 (η)
Weibull 2-EMV*	0,4125	285,4538
Resultados de la Reparación de las Fallas		
Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2
Weibull 2-EMV*	0,5872	70,9897

*Método de máxima Verosimilitud

Por ejemplo, utilizando la Ecuación 8 y los resultados anteriores:

$$R(t = 744) = e^{-\left(\frac{744}{285,4538}\right)^{0,4125}} = 0,2266 = 22,66\%$$

Existe una probabilidad del 22,66% de que el sistema funcione un mes (744h) sin fallar. Los gráficos correspondientes a la probabilidad de Weibull y a la Confiabilidad con sus límites de confianza al 90% se muestran a continuación:

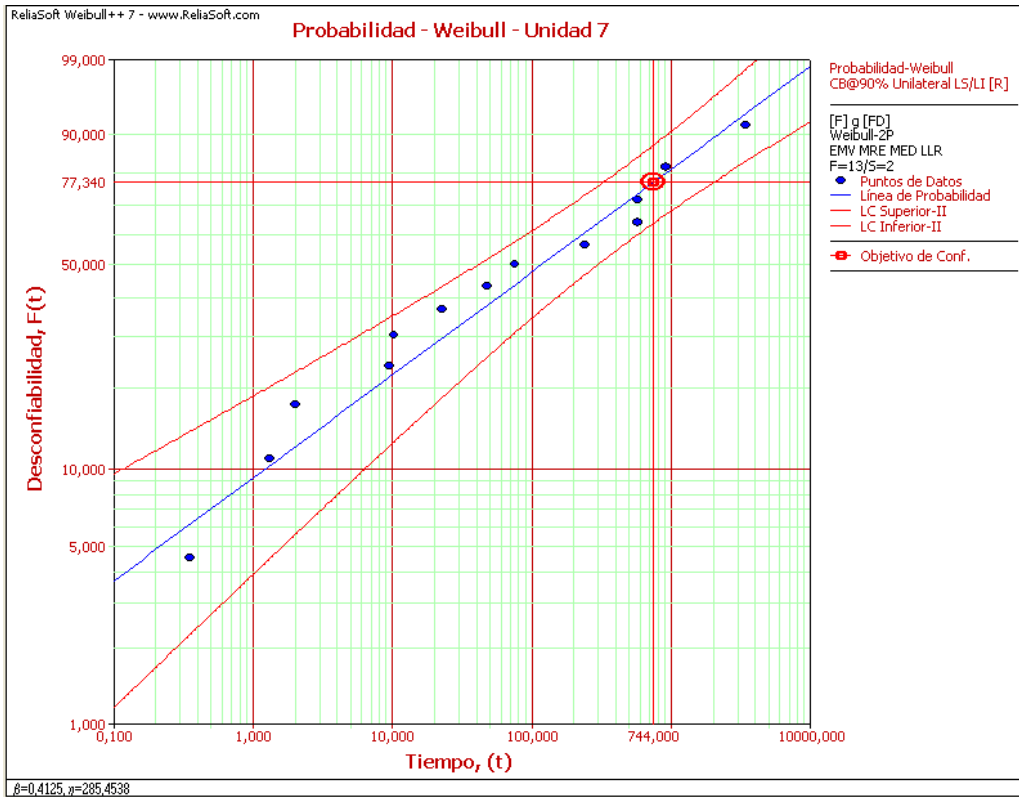


Gráfico 15. Probabilidad Weibull Unidad 7.

Se muestra en el gráfico la Desconfiabilidad $F(t)$ que representa la probabilidad de que el sistema falle. El punto mostrado corresponde al tiempo de un mes (744h) con una probabilidad de falla de 77,34%.

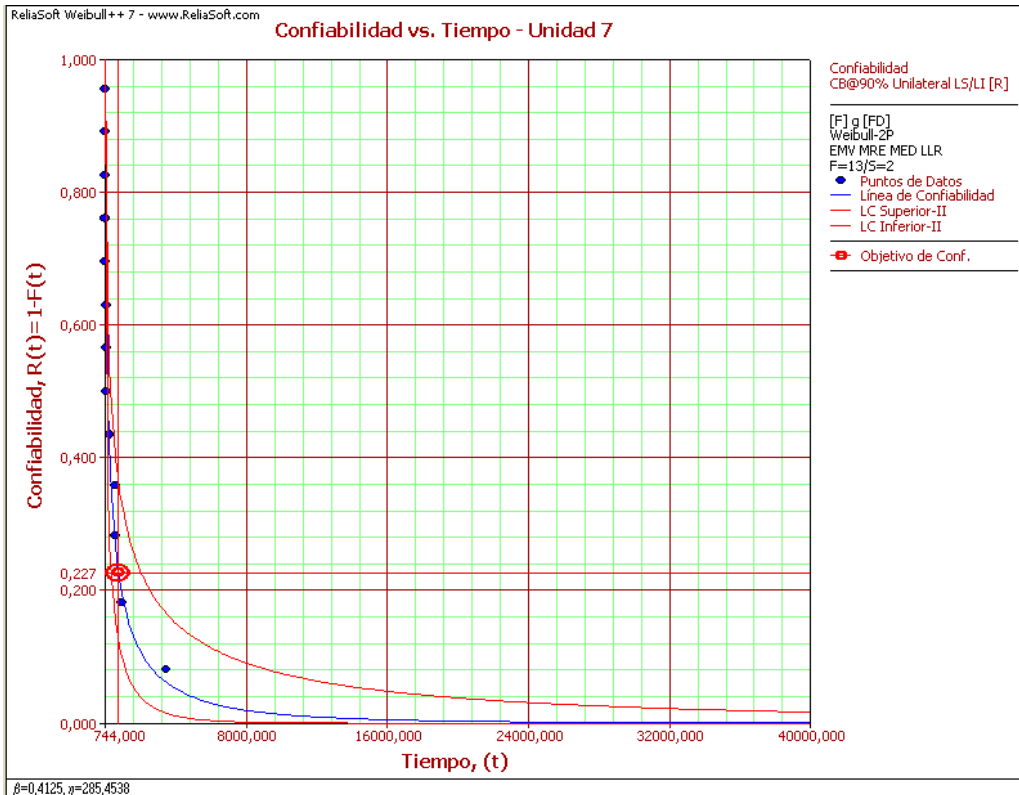


Gráfico 16. Confiabilidad Unidad 7.

Se muestra en el gráfico la distribución la Confiabilidad del sistema, es decir, la probabilidad de que el sistema no presente fallas hasta el tiempo t. En el gráfico se muestra la Confiabilidad para un mes de operación. La tasa de fallas debe ser reducida de manera tal que se alcance cerca del 90% ó 95% de confiabilidad durante un período en el cual el sistema se requiera plenamente.

Para calcular la disponibilidad operacional se emplean los mismos datos de la tabla 20 pero analizando las fallas y los eventos como un todo. El resultado del ajuste se muestra en la tabla 22

Tabla 22. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Disponibilidad Unidad 7.

Resultados de las Fallas y Mantenimientos		
Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2
Weibull 2-EMV	0,4844	237,7685
Resultados de la Duración de las Fallas y Mantenimientos		
Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2
Weibull 2-EMV	0,5834	70,3033
Tiempo en Servicio total	Tiempo Fuera de Servicio total	
6726,6333	2033,3667	

a) Utilizando la Ecuación 5 y el ajuste del software:

$$Disponibilidad = \frac{237,7685}{237,7685 + 70,3033} = \mathbf{0,7718}$$

b) Utilizando la Ecuación 4 y los tiempos fuera de servicio por fallas y por mantenimiento preventivo:

$$Disponibilidad = \frac{8760 - 2033,3667}{8760} = \mathbf{0,7679}$$

La unidad está disponible para el área de Operaciones un 77% de todo el año. La diferencia entre los valores se presenta debido al número de decimales que el software utiliza para el cálculo.

Desde el punto de vista de la Disponibilidad, el sistema no pareciera presentar problemas. Pero si se analiza la Confiabilidad, se puede notar que hay una probabilidad de que el sistema falle cuando realmente se necesita de 77,34%. La importancia del estudio de la Confiabilidad es que permite visualizar la necesidad de tomar acciones con el fin de reducir las paradas imprevistas del sistema.

b) Unidad 8

Data ingresada en el software:

Tabla 23. Datos de Fallas y Eventos Unidad 8.

UNIDAD 08					
Fecha inicio	Hora inicio	Fecha fin	Hora fin	Falla/Evento	TFS [h]
01/01/2007	00:01	05/01/2007	21:27	E	117,43
01/04/2007	21:59	03/04/2007	11:33	E	37,57
23/04/2007	17:03	24/04/2007	13:50	E	20,78
20/05/2007	23:09	21/05/2007	03:13	E	4,07
21/05/2007	13:45	22/05/2007	04:00	E	14,25
22/06/2007	14:13	22/06/2007	16:06	E	1,88
22/06/2007	20:56	22/06/2007	22:26	E	1,50
25/06/2007	13:00	30/06/2007	23:43	E	130,72
21/07/2007	23:57	25/07/2007	19:30	E	91,55
14/07/2007	12:32	14/07/2007	15:59	E	3,45
18/08/2007	15:49	18/08/2007	18:16	E	2,45
24/08/2007	03:20	27/08/2007	10:41	F	79,35
29/08/2007	20:45	29/08/2007	23:16	F	2,52
26/09/2007	10:57	04/10/2007	09:45	F	190,80
17/11/2007	18:48	18/11/2007	11:00	E	16,20
26/11/2007	11:43	26/11/2007	20:59	E	9,27
09/12/2007	19:30	18/12/2007	01:15	F	197,75
19/12/2007	17:28	20/12/2007	13:24	E	19,93

Tabla 24. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Confiabilidad Unidad 8

Resultados de las Fallas		
Distribución	Parámetro 1 (β)	Parámetro 2 (η)
Weibull 2-EMV*	0,8018	1899,9842
Resultados de la Reparación de las Fallas		
Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2
Weibull 2-EMV*	0,8985	113,4758

*Método de Máxima Verosimilitud

La ecuación de Confiabilidad (Ecuación 8) queda:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1899,9842}\right)^{0,8018}}$$

Los gráficos correspondientes a la probabilidad de Weibull y a la Confiabilidad se muestran a continuación:

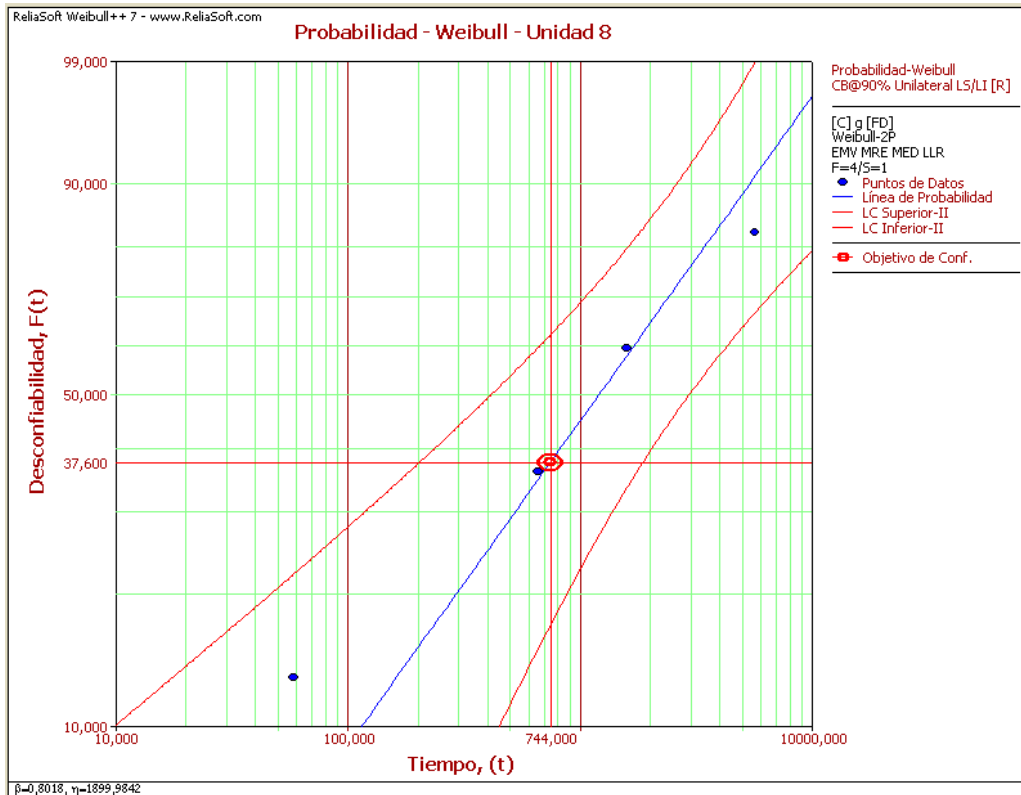


Gráfico 17. Probabilidad Weibull Unidad 8

En el gráfico se presenta la probabilidad de que el sistema falle en un tiempo t , con los respectivos límites de confianza al 90%. En el gráfico se muestra como ejemplo la probabilidad de falla en un mes la cual resultó ser 37,6%

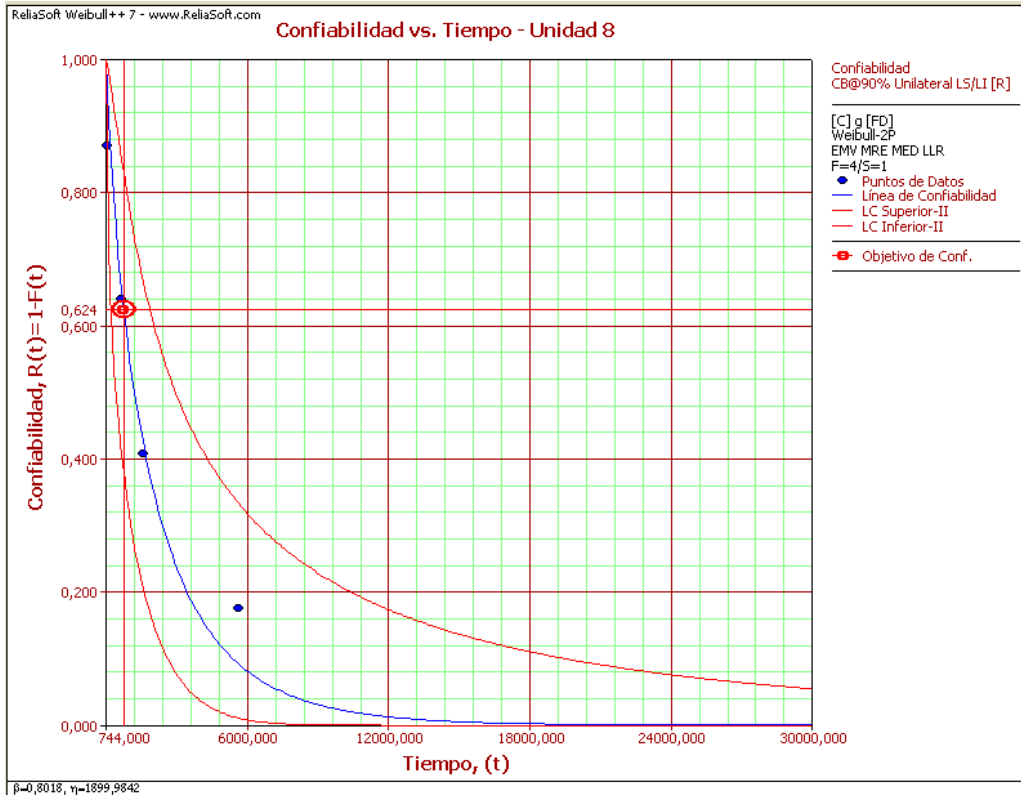


Gráfico 18. Confiabilidad Unidad 8.

Se muestra en el gráfico, como ejemplo, la confiabilidad de la unidad para un tiempo de un mes (744h) la cual resultó ser 62,4%, es decir, existe una probabilidad de 62,4% de que la unidad opere todo un mes sin fallar. Este resultado sugiere la necesidad de disminuir la tasa de fallas de la unidad.

Tabla 25. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Disponibilidad Unidad 8

Resultados de las Fallas y Mantenimientos		
Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2
Weibull 2-EMV	0,6417	350,8285
Resultados de la Duración de las Fallas y Mantenimientos		
Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2
Weibull 2-EMV	0,6848	40,4676
Tiempo en Servicio total	Tiempo Fuera de Servicio total	Total h
7818,5167	941,4667	8759,9834

a) Utilizando la Ecuación 5 y el ajuste del software:

$$Disponibilidad = \frac{350,8285}{350,8285 + 40,4676} = \mathbf{0,8966}$$

b) Utilizando la Ecuación 4 y los tiempos fuera de servicio por fallas y por mantenimiento preventivo:

$$Disponibilidad = \frac{8760 - 941,4667}{8760} = \mathbf{0,8925}$$

La unidad estuvo disponible para el área de Operaciones un 89% de todo el año.

Como se mencionó antes, la Disponibilidad pareciera indicar que la unidad opera satisfactoriamente, pero al analizar la Confiabilidad en función del tiempo se presenta la necesidad de disminuir la tasa de fallas en el sistema.

c) Unidad 9

Data ingresada en el software:

Tabla 26. Datos de Fallas y Eventos Unidad 9.

UNIDAD 09					
Fecha inicio	Hora inicio	Fecha fin	Hora fin	F/E	TFS [h]
12/01/2007	23:27	06/03/2007	21:33	E	1270,10
11/03/2007	14:25	11/03/2007	17:32	F	3,12
16/03/2007	17:52	16/03/2007	20:16	F	2,40
01/05/2007	01:18	05/05/2007	16:32	E	111,23
26/05/2007	02:27	26/05/2007	03:25	E	0,97
26/05/2007	09:24	27/05/2007	11:36	E	26,20
06/06/2007	21:19	10/06/2007	19:47	F	94,47
02/10/2007	09:58	15/10/2007	01:56	F	303,97
19/10/2007	23:46	21/10/2007	19:52	F	44,10
21/10/2007	11:40	21/10/2007	12:00	F	0,33
17/11/2007	00:49	21/11/2007	01:00	F	96,18
06/12/2007	15:28	10/12/2007	16:29	F	97,02

Tabla 27. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Confiabilidad Unidad 9.

Resultados de las Fallas		
Distribución	Parámetro 1 (β)	Parámetro 2 (η)
Weibull 2-EMV*	1,0528	1176,6021
Resultados de la Reparación de las Fallas		
Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2
Weibull 2-EMV*	0,7792	80,8539

*Método de Máxima Verosimilitud

La ecuación de Confiabilidad queda:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1176,6021}\right)^{1,0528}}$$

Los gráficos correspondientes a la probabilidad de Weibull y a la Confiabilidad se muestran a continuación:

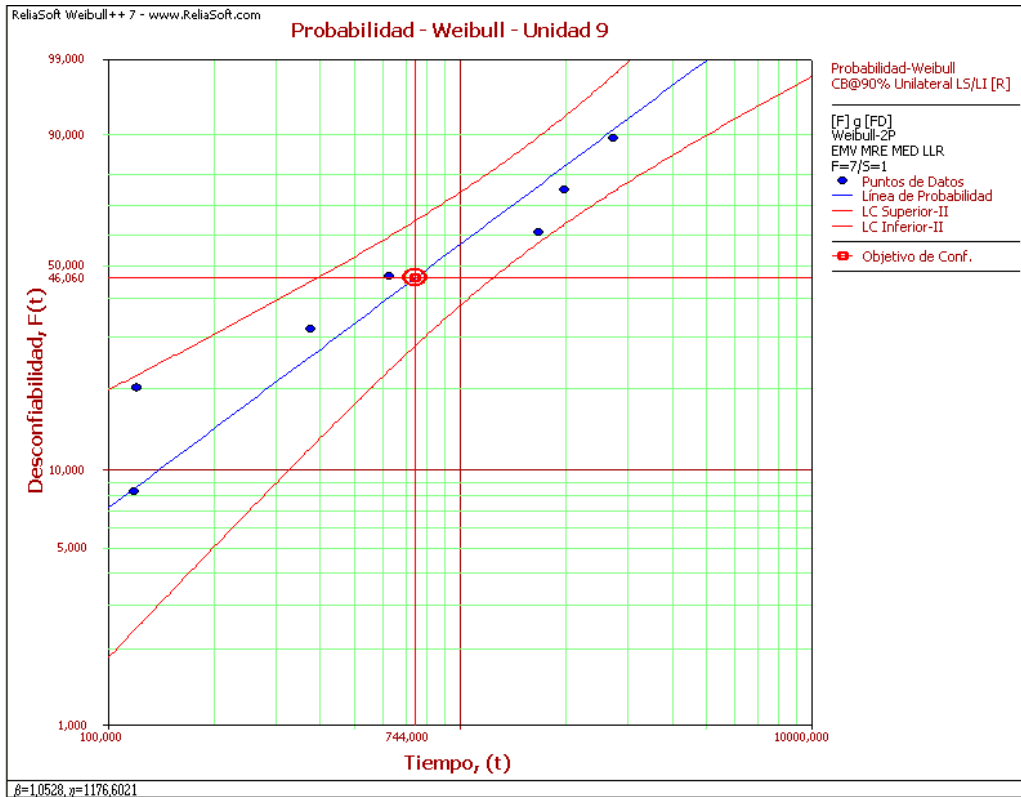


Gráfico 19. Probabilidad Weibull Unidad 9.

Se muestra la probabilidad de falla para un tiempo t . Como ejemplo se marca en el Gráfico 19 la probabilidad de falla para un mes. Se observa que el sistema tiene una probabilidad de fallar en un mes de 46,06%.

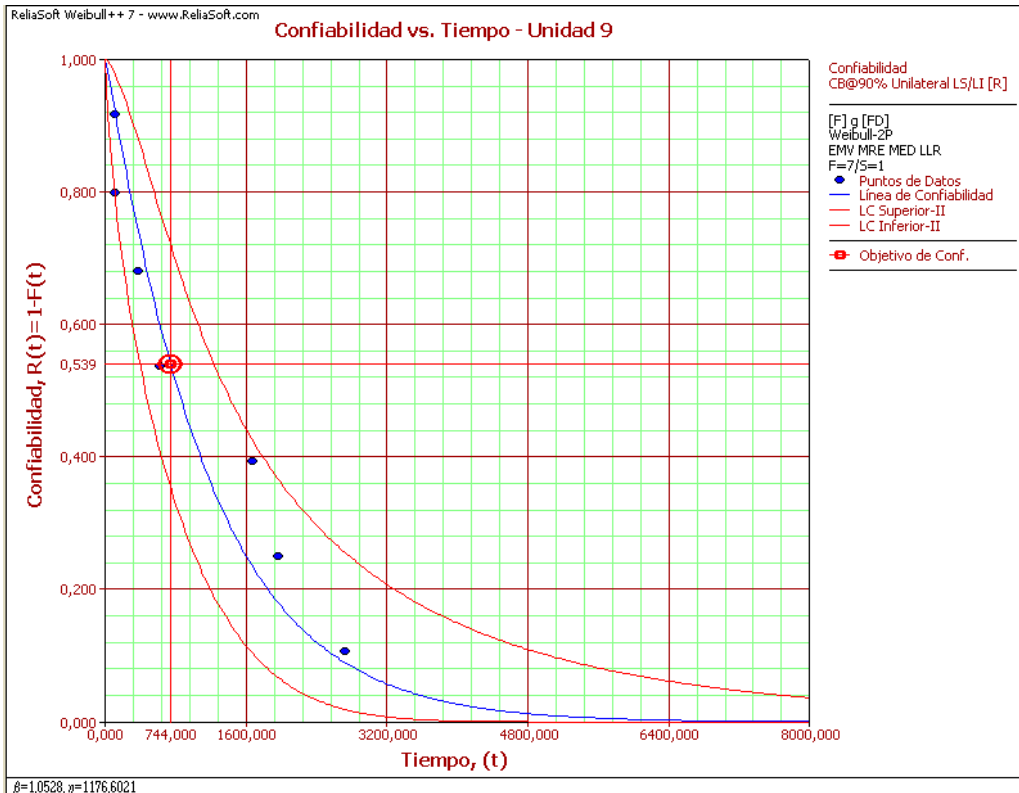


Gráfico 20. Confiabilidad Unidad 9.

En esta unidad la Confiabilidad para un mes de operación es de 53,9%. Se desea que la confiabilidad del sistema sea 100% o al menos cercana a este valor, aproximadamente 90% o 95% son valores aceptados mundialmente. Comparado con el estándar mundial, se puede decir que es necesario aumentar la confiabilidad de esta unidad.

Tabla 28. Ajuste para la distribución Weibull, Cálculo de Disponibilidad Unidad 9.

Resultados de las Fallas y Mantenimientos		
Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2
Weibull 2-EMV	0,7068	469,1545
Resultados de la Duración de las Fallas y Mantenimientos		
Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2
Weibull 2-EMV	0,4878	81,5084
Tiempo en Servicio total	Tiempo Fuera de Servicio total	Total h
6710	2049,9833	8759,9833

a) Utilizando la Ecuación 5 y el ajuste del software:

$$Disponibilidad = \frac{469,1545}{469,1545 + 81,5084} = \mathbf{0,8520}$$

b) Utilizando la Ecuación 4 y los tiempos fuera de servicio por fallas y por mantenimiento preventivo:

$$Disponibilidad = \frac{8760 - 2049,9833}{8760} = \mathbf{0,7660}$$

La unidad estuvo disponible para el área de Operaciones un 85% de todo el año. La diferencia de los resultados se debe a la cantidad de decimales que utiliza el software.

Se aprecia nuevamente que no sólo basta con determinar la Disponibilidad sino que el cálculo de la Confiabilidad es necesario si se quiere analizar la tasa de fallas del sistema. La reducción de la tasa de fallas implica minimizar las paradas imprevistas con el consecuente ahorro de costos.

MEJORAS A CONSIDERAR PARA LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO

- Fijar criterios para la clasificación de las órdenes de mantenimiento preventivas y correctivas, para evitar errores al momento de ingresar los datos al sistema SAP. Esto permite agilizar la búsqueda de información para el análisis de cualquiera de los sistemas o equipos de la planta.
- Vigilar que en cada orden de mantenimiento ingresada al SAP se especifique la ubicación técnica completa del o de los equipos intervenidos.
- Si se desea avanzar hacia un mejoramiento continuo mediante la gestión asistida por indicadores, es indispensable que en cada orden se introduzcan los datos de fecha y hora real de inicio y de fin de la labor, dando prioridad para esta labor a los equipos críticos. Indicadores como Confiabilidad y Disponibilidad dependen de ello. Otros indicadores importantes pueden ser el tiempo medio para reparar y el tiempo medio entre fallas.
- Revisar la descripción técnica de los equipos en la base de datos del SAP y comparar con otras bases de datos o con el mismo equipo. Hacer las correcciones si es necesario.
- Verificar la apertura o elevación de la válvula luego del montaje según el procedimiento descrito en la sección XIV.B.20 del Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento para válvulas Consolidated

Maxiflow 1700-2-S. Este valor de apertura de la válvula debe coincidir con el estampado en la placa de identificación más la apertura requerida que se menciona en el manual citado.

- Especificar en los procedimientos escritos de la compañía, para el mantenimiento de las válvulas, la medición de la holgura entre el porta disco y la guía y e incluir los valores críticos mencionados en la sección XII. B. 3 del manual del fabricante.
- Corregir en los procedimientos, la dimensión mínima de alivio del asiento móvil (Disco) según el tamaño de orificio de la válvula. Consultar el manual, sección XII. B. 4
- Corregir en los procedimientos, la dimensión mínima de alivio del asiento fijo y la dimensión crítica K de reemplazo de la válvula, según el tamaño de orificio de la válvula. Consultar el manual, sección XII. C.
- Corregir el valor de concentricidad para vástagos en válvulas de modelo 1700-2-S El valor no debe exceder 0,007 in.
- Especificar en los procedimientos el valor de torque para las tuercas de la varilla de la horquilla y de la placa cubierta. Estos valores son:

Tabla 29. Torsión de las tuercas de las varillas de las horquillas [lib-pie]

ORIFICIO	CLASE DE PRESION					
	5	6	7	8	9	0
1	150	150	150	120	120	120
2	150	120	120	150	150	150
3	250	150	150	300	300	300
5	300	300	300	350	350	350
4	300	300	300	350	350	350
6	300	300	300	500	-----	1000
7	500	350	500	-----	-----	-----
8	500	500	750	-----	-----	-----
8-xhp	-----	750	-----	-----	-----	-----
R	500	500	750	-----	-----	-----
R-xhp	-----	750	-----	-----	-----	-----

La torsión final de las tuercas de la placa cubierta debe ser de 50 lb/pie

- Realizar pruebas periódicas de la presión prefijada de la válvula utilizando un Hydrosset o un EVT (electronic valve tester). En la Tabla 32 se especifican las horas-hombre necesarias, el costo aproximado y los intervalos de uso. Se presenta a continuación una comparación entre las dos herramientas.

Tabla 30. Comparación Hydroset vs EVT

Característica/ Herramienta	Operación	Precisión	Usos	Otros
HYDROSET	Manual	Indicador de presión analógico $\pm 0.25\%$	Sólo válvulas Consolidated 1700, 3700 y 31700	-Requiere corrección por temperatura -No mide fuerza ni carrera
ELECTRONIC VALVE TESTER (EVT)	Electrónico: 220-240V, 1fase 50-60 Hz / 110V, 1 fase 50-60 Hz	Digital. Los resultados son procesados por computador. Genera gráficos	Cualquier válvula de seguridad	-No requiere corrección por temperatura -Posee transmisor de carrera y de fuerza (Análisis de la cte. del resorte)

- Realizar una inspección de los asientos fijos de las válvulas y determinar qué cantidad de éstos requieren maquinado. Además verificar las dimensiones críticas de reemplazo en las válvulas. Con esta información se puede tomar una decisión para adquirir la herramienta Reseating Machine de Dresser Consolidated, que evita la necesidad de desmontar la válvula para el maquinado.
- Para aquellas válvulas cuya tubería de venteo no es accesible o visible y los drenajes están conectados a una tubería común, es aconsejable utilizar termografía infrarroja para detectar la condición de la válvula.

La termografía es recomendada sobre la inspección por ultrasonido debido a que posee otros campos de aplicación como por ejemplo instalaciones eléctricas de alta y baja tensión, trampas de vapor, motores eléctricos, cojinetes, entre otros. Estudios realizados por EPRI (Electric Power Research Institute, 2001), han indicado que cualquier plan para mejorar el Heat rate debe comenzar con un chequeo de las válvulas. El estándar a seguir es: ASTM E1934-99a(2005)e1 “Standard Guide for Examining Electrical and Mechanical Equipment with Infrared Thermography”. Algunas ventajas son:

- No es necesario detener el generador de vapor.
- El operario no está en contacto directo con la válvula.
- Se detecta a tiempo las fallas en aquellas válvulas que no pueden ser inspeccionadas visualmente.
- Ayuda al seguimiento continuo de las condiciones de la válvula.
- Se puede utilizar para inspeccionar otros equipos dentro de la planta.

Se muestra en la Tabla 31 el costo inicial para la implementación de un proyecto de termografía infrarroja (IRT por sus siglas en inglés) en una planta de combustible fósil. (EPRI, 2001). Los montos son aproximados y se presentan solo a modo de referencia. El proyecto no solo incluye a las válvulas de seguridad.

Tabla 31. Costos iniciales para un proyecto de IRT

Costos iniciales						
Material	Item	Cantidad	Unidad	Nota	Costo Unitario	Total
Hardware						
	Cámara para Termografía	1			\$50,000	\$50,000
	PC/Impresora	1		(1)	\$5,000	\$5,000
Software	IR-SIP	1		(2)	\$1,500	\$1,500
Misceláneos		1	N/A		\$1,500	\$1,500
Material Sub-Total						\$58,000
	Item	Cantidad	Unidad	Nota	Costo Unitario	Total
	Entrenadores	2		(3)	\$1,000	\$2,000
	Viáticos	2		(4)	\$2,000	\$4,000
Entrenamiento Inicial Sub-Total						\$6,000
Contrato de Servicios	Item	Cantidad	Unidad	Nota	Costo Unitario	Total
	Anteproyecto	1		(5)	\$17,240	\$17,240
Contrato de Servicios Sub-Total						\$17,240
Mano de Obra	Item	Cantidad	Unidad	Nota	Costo Unitario	Total
	Ingeniero	5	Días hombre	(6)	\$400	\$2,000
	Entrenador	20	Días hombre	(6)	\$400	\$8,000
	Mano de obra anteproyecto	215	Días hombre		\$400	\$86,000
Mano de Obra Sub-Total						\$96,000
Costos iniciales Total						\$177,240

Notas:

- (1) El computador y la impresora son necesarios para generar el reporte.
- (2) Programa IR-SIP de reporte.
- (3) Basado en el costo promedio de un curso de 5 días
- (4) Viaje basado en una semana de viaje en la vía con una tarifa aérea de 1000\$
- (5) Costo de la primera inspección, entrenamiento y soporte técnico por los primeros 12 meses más 8 días para desarrollar la base de datos del componente y generar el reporte inicial: 800\$ por día y gastos de viaje y vivienda
- (6) Labor basada en una tasa ponderada de 400\$ por día para entrenamiento y un contrato de inspección y soporte

En la Tabla 32 se presenta, a modo de resumen, las labores de mantenimiento que involucran innovación en cuanto al uso de herramientas especiales.

Tabla 32. Labores de Mantenimiento Sugeridas para válvulas de seguridad

Labor	h-hombre	Herramienta especial	Presupuesto apróx.	Intervalos de uso	Contactos
IRT	1.0	Cámara para termografía	\$50,000	6 meses*	
Verificación de la presión pre fijada	1.0	Opción a) EVT	\$49,950	12 meses**	1)Ventil U.S.A Inc allan@ventil-usa.com Allan Barry-Taylor / 2)Riese & CIA, S.A
		Opción b) Hydroset	***	12 meses**	Riese & CIA, S.A jdiaz_riese@cantv.net Ing. José Ramón Díaz
Maquinado del asiento fijo	3.0	Dresser Reseating Machine	***	Por condición (Dimensión crítica)	Riese & CIA, S.A / Climax Portable Machine Tools, info@cpmt.com

*Fuente: EPRI 2001

**Fuente: Chi-Hui Chien, 2008 (Los intervalos pueden variar dependiendo de las necesidades de mantenimiento)

***No se obtuvo presupuesto.

CONCLUSIONES

Finalmente, del trabajo realizado en la Optimización de los Procedimientos de Mantenimiento en el CGJSB derivan las siguientes conclusiones:

- Se realizó una base de datos con el historial de fallas de los componentes de la caldera seleccionados. Los datos se tomaron desde el año 2006 hasta octubre del 2008. Para las tres unidades, el sistema con más fallas resultó ser el sistema de combustible.
- Los componentes críticos de los generadores de vapor son: Sistema de combustible, tubos de caldera y válvulas de seguridad. El sub sistema crítico seleccionado en este Trabajo de Grado fue: Válvulas de seguridad (Domo, Sobrecalentador y recalentador). El AMEF y el análisis de los procedimientos técnicos de mantenimiento se limitó a este sub sistema.
- El análisis de los procedimientos administrativos de mantenimiento permitió identificar fallas en el proceso y sugerir medidas correctivas. Estas fallas no afectan el desempeño de la labor de mantenimiento pero sí la recopilación de datos estadísticos que permite monitorear las condiciones de los equipos.
- Los indicadores de Confiabilidad y Disponibilidad no se calcularon para cada sub sistema debido a que no se contaba con los datos necesarios referentes a las horas de operación y mantenimiento. Sin embargo, los indicadores fueron calculados para el sistema (Generador de vapor). En general, es necesario reducir la tasa de fallas de las calderas de manera que se pueda obtener una Confiabilidad cercana al 90% ó 95%.

- Al efectuar el análisis a los procedimientos técnicos de mantenimiento para las válvulas de seguridad, se pudo identificar que se siguen algunos parámetros (dimensiones críticas de reemplazo, dimensiones máximas, mínimas o procedimientos de inspección) que no están especificados en los manuales del fabricante o no son aplicables a los modelos instalados. Esto permitió que se lograra especificar las acciones correctivas necesarias, alcanzando de esta manera un paso importante en la optimización de los procedimientos de mantenimiento.
- El análisis de modos y efectos de falla AMEF, permitió realizar un listado de las posibles causas de fallas en las válvulas. Cada una de estas causas reveló una oportunidad para mejorar la forma en que se inspecciona o se repara. Con el apoyo del AMEF se logró seleccionar herramientas de vanguardia para el diagnóstico o la reparación de las válvulas de seguridad. Se presentan los costos aproximados de las herramientas, intervalos de uso y las horas-hombre aproximadas para su empleo.

RECOMENDACIONES

- Vigilar el ingreso de los datos al sistema SAP, de manera que se pueda contar con información útil para analizar el comportamiento de equipos o sistemas. Esto permite disminuir el tiempo empleado en la búsqueda de la información y concentrar los esfuerzos en la aplicación pronta de acciones preventivas.
- Se recomienda realizar un análisis de modos y efectos de falla y una revisión de procedimientos de mantenimiento para los demás equipos en las unidades de generación de vapor. Esto debe hacerse, como mínimo, antes de introducir cualquier tecnología o modificación en los procedimientos.
- Las operaciones para el acabado superficial de asientos se pueden mejorar utilizando la herramienta Roto-Lap de Dresser Consolidated. Sin embargo se pueden lograr resultados óptimos si se siguen correctamente y se inspeccionan los procedimientos establecidos en el manual de la válvula.
- Se recomienda extender los análisis desarrollados en este trabajo hacia todos los sistemas de la planta y complementarlos con un análisis de costo-riesgo. Este tipo de análisis se desarrolla completamente en la investigación titulada: *Consolidated Plant Maintenance Optimization Guideline For Fossil Power Plants*. EPRI (2003).
- La Confiabilidad para años futuros podría obtenerse si se utilizan datos anteriores y posteriores a los tomados en este estudio (datos del año 2007), de esta manera se mejoraría el ajuste de las distribuciones de probabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (5^{ta} ed.). Caracas: EPISTEME.
- Báez A., Carballo R. (2004). *Desarrollo de un plan de mantenimiento para una industria textil basado en mantenimiento productivo total utilizando un sistema computarizado*. Trabajo Especial de Grado no publicado. Universidad Central de Venezuela, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.
- Becerra, G. y Palencia, O. (2005). *Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional para el área de servicios industriales de Bavaria S. A. Cervecería de Boyacá*. [Artículo en línea]. Consultado el 17 de Julio de 2008 en: <http://www.aciem.org/>
- Centro de Estudios Gerenciales, Instituto Superior de Investigación y Desarrollo. (1995). *Disponibilidad y Confiabilidad de Sistemas Industriales*. Caracas.
- Mosquera G. y otros. [Publicación en línea]. Consultado el 8 de Julio de 2008 en: www.lacatedra.com/isid/lacatedra/file.php/1/Biblioteca_/Librodispo.pdf
- Chien C.y Otros. (2008). *A strategy for the risk-based inspection of pressure safety valves*. Reliability Engineering and System Safety. [Revista en Línea] 94 (2009) 810–818. Consultado el 29 de Julio de 2008 en: <http://www.sciencedirect.com>
- Christensen, Claudio. (2005). *Indicadores de Mantenimiento*. Club de Mantenimiento. [Revista en Línea] 13. Consultado el 1 de Julio de 2008 en: http://www.clubdemantenimiento.com.ar/?seccion=articulos_publicados/32_indicadores1&derecha=no
- Christensen, Claudio. (2006). *Indicadores de Mantenimiento*. Club de Mantenimiento. [Revista en línea] 16. Consultado el 1 de Julio de 2008 en:

- http://www.clubdemantenimiento.com.ar/?seccion=articulos_publicados/36_indicadores5&derecha=no
- Dresser Industries, Inc. (1994). *HydrosetnTesting Device For Setting Safety Valves,(Operation Manual)*. [Manual Digitalizado]. Estados Unidos: DRESSER CONSOLIDATED.
- Dresser Industries, Inc. (2000). *Consolidated Safety Valve Type 1700-2-S and 1700-3-S Installation, Operation And Maintenance Manual*. Estados Unidos. [Publicacion en línea]. Consultado el 5 de Julio de 2008 en: <http://www.consolidatedvalve.com/>
- Dresser Industries, Inc. (2002). *Parts Reference Manual*. Estados Unidos. [Publicacion en línea]. Consultado el 5 de Julio de 2008 en: <http://www.consolidatedvalve.com/>
- Dresser Industries, Inc. (2002). *Reseating Machine Manual*. [Manual Digitalizado]. Estados Unidos: DRESSER CONSOLIDATED.
- Durán, José. (2000) *¿Qué es Confiabilidad Operacional?* [Revista en Línea] 2. Consultado el 5 de Mayo de 2008 en: http://www.clubdemantenimiento.com.ar/?seccion=articulos_publicados/72_confiabilidad_operacional&derecha=no
- Electric Power Research Institute. (1996). *Safety and Relief Valve Testing and Maintenance Guide*. Estados Unidos. Nuclear Maintenance Applications Center [Publicación en línea]. Consultado el 25 de Julio de 2008 en: <http://my.epri.com>
- Electric Power Research Institute. (2000). *Impact of Operating Factors on Boiler Availability*. Estados Unidos. Chang, P. [Publicacion en línea]. Consultado el 25 de Julio de 2008 en: <http://my.epri.com>
- Electric Power Research Institute. (2000). *Plant Maintenance Optimization Assessment Guideline*. Estados Unidos. Colsher, R. y Vollmer, W. [Publicación en línea]. Consultado el 24 de Julio de 2008 en: <http://my.epri.com>

- Electric Power Research Institute. (2001). *Boiler Reliability Optimization Guideline*. Estados Unidos. McGhee, D. [Publicacion en línea]. Consultado el 24 de Julio de 2008 en: <http://my.epri.com>
- Electric Power Research Institute. (2001). *Guideline for Developing and Managing an Infrared Thermograph (IRT) Program*. Estados Unidos. Hammaker, R y Madding, R. [Publicación en línea]. Consultado el 2 de Agosto de 2008 en: <http://my.epri.com>
- Electric Power Research Institute. (2002). *Maintenance Excellence Matrix: Assessment Guideline for Fossil Power Plants*. Estados Unidos. DeCoster, M. [Publicación en línea]. Consultado el 30 de Julio de 2008 en: <http://my.epri.com>
- Electric Power Research Institute. (2003). *Consolidated Plant Maintenance Optimization Guideline: For Fossil Power Plants*. Estados Unidos. Colsher, R. y Woysner, W. [Publicación en línea]. Consultado el 30 de Julio de 2008 en: <http://my.epri.com>
- Ford Motor Company. (2008). *Potential Failure Mode and Effects Analysis*. Estados Unidos. [Publicacion en línea]. Consultado el 2 de Agosto de 2008 en: <https://www.aiag.org/source/Orders/index.cfm?section=orders&activesection=AiagPubs&task=0&search=P>
- Gotera, E. (2003) *¿Qué es lo último que hemos aplicado en mantenimiento?* [Artículo en línea]. Consultado el 4 de Julio de 2008. Disponible en: <http://www.emagister.com/que-es-lo-ultimo-que-hemos-aplicado-mantenimiento-cursos-659612.htm>
- Guevara C. y Otros (2007, Octubre 23 al 25). *Método para evaluación de disponibilidad en sistemas de generación de energía eléctrica aplicado a turbinas de gas*. 8º Congreso Iberoamericano De Ingeniería Mecánica. Cusco. Pontificia Universidad Católica del Perú. [Publicación en línea]. Consultado el 2 de Agosto de 2008 en: www.pucp.edu.pe/congreso/cibim8/pdf/06/06-84.pdf

- Huerta, Rosendo. (2001). *El análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*. Club de Mantenimiento. [Revista en Línea] 6. Consultado el 5 de Mayo de 2008 en: http://www.clubdemantenimiento.com.ar/?seccion=articulos_publicados/73_criticidad_confiabilidad&derecha=no
- Huerta, Rosendo. (2006, Junio 5 al 9). *Proceso de análisis Integral de Disponibilidad y Confiabilidad como soporte para el mejoramiento continuo de las empresas*. Conferencia dictada en Reliability Word 2006, Centro CONVEX. México. Noria Corporation. [Publicación en línea]. Consultado el 9 de julio de 2008 en: www.noria.com/sp/rwla/conferencias/mem/Paper%20Rosendo.pdf
- Leland, C. (1995). *Lapping Valve Seating Surfaces*. Estados Unidos. [Artículo en línea]. Consultado el 15 de Julio de 2008 en: <http://www.us-products.com/sitehtml/techdataproc.html>
- Lindley, R y Keith, R. (2002). *Maintenance Engineering Handbook* (6^{ta} ed). [Libro Digitalizado]. New York: MCGRAW-HILL.
- Moubray J. (1997). *Reliability Centered Maintenance*. [Libro Digitalizado]. Oxford: BIDDLES Ltd.

APÉNDICE A
PONDERACIÓN Y PROMEDIOS DE LAS RESPUESTAS
EN LAS ENCUESTAS DE CRITICIDAD

Unidad 7

Tabla 33. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Válvulas de seguridad, Unidad 7.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Válvulas de Seguridad						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	2	3	6	3	0	0
Operación	1	4	6	3	0	0
Operación	3	4	6	3	0	0
Operación	2	4	6	3	0	0
Planificación	1	3	6	3	0	0
Planificación	2	4	6	3	5	0
Planificación	3	3	6	3	5	0
Planificación	2	3	3	3	0	0
Mtto. Mayor	3	4	6	3	5	0
Mtto. Mayor	3	3	6	3	0	0
Mtto. Mayor	2	4	6	3	0	0
Taller Mecánico	3	3	6	3	5	5
Taller Mecánico	3	3	6	3	0	5
Taller Mecánico	3	3	6	3	0	0
Taller Mecánico	3	4	6	3	0	0
PROMEDIOS	2,400	3,467	5,800	3,000	1,333	0,667
Criticidad:		60,256				

Tabla 34. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Tubos de Caldera, Unidad 7.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Tubos de Caldera Unidad 7						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	2	5	4	10	0	0
Operación	2	5	4	10	0	0
Operación	3	5	4	10	5	0
Operación	3	5	4	10	0	0
Planificación	5	5	4	10	0	0
Planificación	3	5	4	5	0	0
Planificación	3	5	4	5	5	5
Planificación	3	5	4	10	10	10
Mtto. Mayor	3	5	4	10	5	0
Mtto. Mayor	3	5	4	10	5	5
Mtto. Mayor	2	5	4	25	0	0
Taller Mecánico	2	5	4	10	5	5
Taller Mecánico	3	5	4	5	0	0
Taller Mecánico	2	5	4	10	5	5
Taller Mecánico	2	5	4	5	5	5
PROMEDIOS	2,733	5,000	4,000	9,667	3,000	2,333
Criticidad: 95,667						

Tabla 35. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Ventiladores de tiro forzado, Unidad 7.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Ventiladores de Tiro Forzado Unidad 7						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	2	1	3	0	0
Operación	1	1	1	3	0	0
Operación	2	2	1	3	5	0
Operación	2	3	1	3	0	0
Planificación	1	3	0,6	3	0	0
Planificación	3	3	1	3	5	0
Planificación	2	2	1	3	0	0
Planificación	1	3	1	3	10	0
Mtto. Mayor	3	3	1	3	0	0
Mtto. Mayor	2	3	1	3	0	0
Mtto. Mayor	3	2	1	3	5	0
Taller Mecánico	3	3	1	3	0	0
Taller Mecánico	2	3	1	3	0	0
Taller Mecánico	2	2	1	3	5	0
Taller Mecánico	3	3	1	3	5	0
PROMEDIOS	2,067	2,533	0,973	3,000	2,333	0,000
Criticidad:		16,118				

Tabla 36. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Sistema de Combustible, Unidad 7.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Sistema de Combustible Unidad 7						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	1	2,4	3	0	0
Operación	4	1	2,4	3	5	5
Operación	5	2	14,4	3	10	5
Operación	5	2	2,4	3	5	5
Planificación	5	2	2,4	3	0	0
Planificación	4	2	2,4	3	5	5
Planificación	5	1	2,4	3	25	10
Planificación	2	3	14,4	3	25	25
Mtto. Mayor	5	2	2,4	3	10	5
Mtto. Mayor	5	3	2,4	3	10	5
Mtto. Mayor	5	2	2,4	3	5	5
Taller Mecánico	5	2	2,4	3	25	5
Taller Mecánico	5	3	2,4	3	10	10
Taller Mecánico	5	2	2,4	3	10	5
Taller Mecánico	5	2	2,4	3	10	5
PROMEDIOS	4,400	2,000	4,000	3,000	10,333	6,333
Criticidad: 121,733						

Tabla 37. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Calentadores de Aire, Unidad 7.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Calentadores de aire Unidad 7						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	1	2	3	0	0
Operación	1	1	0,2	3	0	0
Operación	4	2	0,2	3	5	0
Operación	3	2	2	3	5	0
Planificación	4	3	4	3	0	0
Planificación	3	2	0,2	3	0	0
Planificación	4	2	0,2	3	5	0
Planificación	2	3	1,2	3	5	0
Mtto. Mayor	4	3	0,2	3	5	0
Mtto. Mayor	3	2	2	3	0	0
Mtto. Mayor	4	3	0,2	3	0	0
Taller Mecánico	3	3	1,2	3	0	0
Taller Mecánico	3	2	2	3	0	0
Taller Mecánico	4	3	0,2	3	0	0
Taller Mecánico	3	3	0,2	3	0	0
PROMEDIOS	3,067	2,333	1,067	3,000	1,667	0,000
Criticidad:		21,944				

Tabla .38. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Sopladores de Hollín, Unidad 7.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Sopladores de Hollín, Unidad 7						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	3	4	0,7	3	0	0
Operación	2	3	0,7	3	0	0
Operación	3	4	4,2	3	5	0
Operación	3	3	4,2	3	5	0
Planificación	4	3	14	3	0	0
Planificación	3	2	0,7	3	0	0
Planificación	3	2	0,7	3	5	0
Planificación	3	4	4,2	3	10	0
Mtto. Mayor	3	3	4,2	3	0	0
Mtto. Mayor	3	3	0,7	3	5	0
Mtto. Mayor	3	3	4,2	3	10	0
Taller Mecánico	2	3	0,7	3	5	5
Taller Mecánico	3	2	4,2	3	25	10
Taller Mecánico	3	2	4,2	3	5	5
Taller Mecánico	3	2	0,7	3	5	0
PROMEDIOS	2,933	2,867	3,220	3,000	5,333	1,333
Criticidad:		55,432				

Tabla .39. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Ventiladores recirculación de gases
Unidad 7.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Ventiladores de recirculación de Gases, Unidad 7						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	5	0,1	3	0	0
Operación	1	3	0,1	3	0	0
Operación	1	4	0,6	3	5	0
Operación	1	4	0,1	3	0	0
Planificación	1	2	0,6	3	5	0
Planificación	1	4	0,1	3	0	0
Planificación	1	4	0,1	3	0	0
Planificación	1	5	0,1	3	0	25
Mtto. Mayor	1	4	0,1	3	5	0
Mtto. Mayor	1	4	0,1	3	5	0
Mtto. Mayor	1	4	0,1	3	0	0
Taller Mecánico	1	5	0,1	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0,6	3	0	0
Taller Mecánico	1	5	0,1	3	5	0
Taller Mecánico	1	4	0,6	3	5	0
PROMEDIOS	1,000	4,067	0,233	3,000	2,000	1,667
Criticidad:		7,616				

Tabla 40. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Bombas de Circulación de la Caldera, Unidad 7.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Bombas de circulación de la Caldera, Unidad 7						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	4	0	3	0	0
Operación	1	4	0	3	0	0
Operación	1	3	0	3	0	0
Operación	1	4	0	3	0	0
Planificación	2	5	0	3	0	0
Planificación	1	4	0	3	0	0
Planificación	2	4	0	3	0	0
Planificación	1	5	0	3	0	0
Mtto. Mayor	1	4	0	3	0	0
Mtto. Mayor	1	4	0	3	0	0
Mtto. Mayor	1	4	0	3	0	0
Taller Mecánico	1	5	0	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0	3	0	0
PROMEDIOS	1,133	4,133	0,000	3,000	0,000	0,000
Criticidad:		3,400				

Unidad 8

Tabla 41. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Válvulas de seguridad, Unidad 8.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Válvulas de Seguridad, Unidad 8						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	2	3	8	3	0	0
Operación	1	4	8	3	0	0
Operación	3	4	8	3	0	0
Operación	2	4	8	3	0	0
Planificación	1	3	8	3	0	0
Planificación	2	4	8	3	5	0
Planificación	3	3	8	3	5	0
Planificación	2	3	4	3	0	5
Mtto. Mayor	3	4	8	3	5	0
Mtto. Mayor	3	3	8	3	0	0
Mtto. Mayor	2	4	8	3	0	0
Taller Mecánico	3	3	8	3	5	5
Taller Mecánico	3	3	8	3	0	5
Taller Mecánico	3	3	8	3	0	0
Taller Mecánico	3	4	8	3	0	0
PROMEDIOS	2,400	3,467	7,733	3,000	1,333	1,000
Criticidad:		77,144				

Tabla 42. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Tubos de Caldera, Unidad 8.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Tubos de Caldera Unidad 8						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	2	5	8	10	0	0
Operación	2	5	8	10	0	0
Operación	3	5	8	10	5	0
Operación	3	5	8	10	0	0
Planificación	5	5	8	10	0	0
Planificación	3	5	8	5	0	0
Planificación	3	5	8	5	5	5
Planificación	3	5	8	10	10	10
Mtto. Mayor	3	5	8	10	5	0
Mtto. Mayor	3	5	8	10	5	5
Mtto. Mayor	2	5	8	25	0	0
Taller Mecánico	2	5	8	10	5	5
Taller Mecánico	3	5	8	5	0	0
Taller Mecánico	2	5	8	10	5	5
Taller Mecánico	2	5	8	5	5	5
PROMEDIOS	2,733	5,000	8,000	9,667	3,000	2,333
Criticidad: 150,315						

Tabla 43. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Ventiladores de tiro forzado, Unidad 8.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Ventiladores de Tiro Forzado Unidad 8						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	2	1	3	0	0
Operación	1	1	1	3	0	0
Operación	2	2	1	3	5	0
Operación	2	3	1	3	0	0
Planificación	1	3	0,6	3	0	0
Planificación	3	3	1	3	5	0
Planificación	2	2	1	3	0	0
Planificación	1	3	1	3	10	0
Mtto. Mayor	3	3	1	3	0	0
Mtto. Mayor	2	3	1	3	0	0
Mtto. Mayor	3	2	1	3	5	0
Taller Mecánico	3	3	1	3	0	0
Taller Mecánico	2	3	1	3	0	0
Taller Mecánico	2	2	1	3	5	0
Taller Mecánico	3	3	1	3	5	0
PROMEDIOS	2,067	2,533	0,973	3,000	2,333	0,000
Criticidad: 16,118						

Tabla .44 Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Sistema de Combustible, Unidad 8.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Sistema de Combustible Unidad 8						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	1	7	3	0	0
Operación	4	1	7	3	5	5
Operación	5	2	42	3	10	5
Operación	5	2	7	3	5	5
Planificación	5	2	7	3	0	0
Planificación	4	2	7	3	5	5
Planificación	5	1	7	3	25	10
Planificación	2	3	42	3	25	25
Mtto. Mayor	5	2	7	3	10	5
Mtto. Mayor	5	3	7	3	10	5
Mtto. Mayor	5	2	7	3	5	5
Taller Mecánico	5	2	7	3	25	5
Taller Mecánico	5	3	7	3	10	10
Taller Mecánico	5	2	7	3	10	5
Taller Mecánico	5	2	7	3	10	5
PROMEDIOS	4,400	2,000	11,667	3,000	10,333	6,333
Criticidad: 189,200						

Tabla 45. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Calentadores de Aire, Unidad 8.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Calentadores de aire Unidad 8						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	1	4,5	3	0	0
Operación	1	1	0,45	3	0	0
Operación	4	2	0,45	3	5	0
Operación	3	2	4,5	3	5	0
Planificación	4	3	9	3	0	0
Planificación	3	2	0,45	3	0	0
Planificación	4	2	0,45	3	5	0
Planificación	2	3	2,7	3	5	0
Mtto. Mayor	4	3	0,45	3	5	0
Mtto. Mayor	3	2	4,5	3	0	0
Mtto. Mayor	4	3	0,45	3	0	0
Taller Mecánico	3	3	2,7	3	0	0
Taller Mecánico	3	2	4,5	3	0	0
Taller Mecánico	4	3	0,45	3	0	0
Taller Mecánico	3	3	0,45	3	0	0
PROMEDIOS	3,067	2,333	2,400	3,000	1,667	0,000
Criticidad:		31,486				

Tabla 46. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Sopladores de Hollín, Unidad 8.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Sopladores de Hollín, Unidad 8						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	3	4	1,1	3	0	0
Operación	2	3	1,1	3	0	0
Operación	3	4	6,6	3	5	0
Operación	3	3	6,6	3	5	0
Planificación	4	3	22	3	0	0
Planificación	3	2	1,1	3	0	0
Planificación	3	2	1,1	3	5	0
Planificación	3	4	6,6	3	10	0
Mtto. Mayor	3	3	6,6	3	0	0
Mtto. Mayor	3	3	1,1	3	5	0
Mtto. Mayor	3	3	6,6	3	10	0
Taller Mecánico	2	3	1,1	3	5	5
Taller Mecánico	3	2	6,6	3	25	10
Taller Mecánico	3	2	6,6	3	5	5
Taller Mecánico	3	2	1,1	3	5	0
PROMEDIOS	2,933	2,867	5,060	3,000	5,333	1,333
Criticidad:		70,899				

Tabla 47. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Ventiladores recirculación de gases
Unidad 8.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Ventiladores de recirculación de Gases, Unidad 8						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	5	0,1	3	0	0
Operación	1	3	0,1	3	0	0
Operación	1	4	0,6	3	5	0
Operación	1	4	0,1	3	0	0
Planificación	1	2	0,6	3	5	0
Planificación	1	4	0,1	3	0	0
Planificación	1	4	0,1	3	0	0
Planificación	1	5	0,1	3	0	25
Mtto. Mayor	1	4	0,1	3	5	0
Mtto. Mayor	1	4	0,1	3	5	0
Mtto. Mayor	1	4	0,1	3	0	0
Taller Mecánico	1	5	0,1	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0,6	3	0	0
Taller Mecánico	1	5	0,1	3	5	0
Taller Mecánico	1	4	0,6	3	5	0
PROMEDIOS	1,000	4,067	0,233	3,000	2,000	1,667
Criticidad:		7,615				

Tabla 48. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Bombas de Circulación de la Caldera, Unidad 8.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Bombas de circulación de la Caldera, Unidad 8						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	4	0,15	3	0	0
Operación	1	4	0,15	3	0	0
Operación	1	3	0,15	3	0	0
Operación	1	4	0,15	3	0	0
Planificación	2	5	1,5	3	0	0
Planificación	1	4	0,15	3	0	0
Planificación	2	4	0,15	3	0	0
Planificación	1	5	0,15	3	0	0
Mtto. Mayor	1	4	1,5	3	0	0
Mtto. Mayor	1	4	0,15	3	0	0
Mtto. Mayor	1	4	0,15	3	0	0
Taller Mecánico	1	5	0,15	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0,15	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0,15	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0,15	3	0	0
PROMEDIOS	1,133	4,133	0,330	3,000	0,000	0,000
Criticidad:		4,944				

Unidad 9

Tabla .49. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Válvulas de seguridad, Unidad 9.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Válvulas de Seguridad, Unidad 9						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	2	3	7	3	0	0
Operación	1	4	7	3	0	0
Operación	3	4	7	3	0	0
Operación	2	4	7	3	0	0
Planificación	1	3	7	3	0	0
Planificación	2	4	7	3	5	0
Planificación	3	3	7	3	5	0
Planificación	2	3	3,5	3	0	5
Mtto. Mayor	3	4	7	3	5	0
Mtto. Mayor	3	3	7	3	0	0
Mtto. Mayor	2	4	7	3	0	0
Taller Mecánico	3	3	7	3	5	5
Taller Mecánico	3	3	7	3	0	5
Taller Mecánico	3	3	7	3	0	0
Taller Mecánico	3	4	7	3	0	0
PROMEDIOS	2,400	3,467	6,767	3,000	1,333	1,000
Criticidad:		69,099				

Tabla 50. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Tubos de Caldera, Unidad 9.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Tubos de Caldera Unidad 9						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	2	5	7	10	0	0
Operación	2	5	7	10	0	0
Operación	3	5	7	10	5	0
Operación	3	5	7	10	0	0
Planificación	5	5	7	10	0	0
Planificación	3	5	7	5	0	0
Planificación	3	5	7	5	5	5
Planificación	3	5	7	10	10	10
Mtto. Mayor	3	5	7	10	5	0
Mtto. Mayor	3	5	7	10	5	5
Mtto. Mayor	2	5	7	25	0	0
Taller Mecánico	2	5	7	10	5	5
Taller Mecánico	3	5	7	5	0	0
Taller Mecánico	2	5	7	10	5	5
Taller Mecánico	2	5	7	5	5	5
PROMEDIOS	2,733	5,000	7,000	9,667	3,000	2,333
Criticidad: 136,667						

Tabla .51 Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Ventiladores de tiro forzado, Unidad 9.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Ventiladores de Tiro Forzado Unidad 9						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	2	2,5	3	0	0
Operación	1	1	2,5	3	0	0
Operación	2	2	2,5	3	5	0
Operación	2	3	2,5	3	0	0
Planificación	1	3	1,5	3	0	0
Planificación	3	3	2,5	3	5	0
Planificación	2	2	2,5	3	0	0
Planificación	1	3	2,5	3	10	0
Mtto. Mayor	3	3	2,5	3	0	0
Mtto. Mayor	2	3	2,5	3	0	0
Mtto. Mayor	3	2	2,5	3	5	0
Taller Mecánico	3	3	2,5	3	0	0
Taller Mecánico	2	3	2,5	3	0	0
Taller Mecánico	2	2	2,5	3	5	0
Taller Mecánico	3	3	2,5	3	5	0
PROMEDIOS	2,067	2,533	2,433	3,000	2,333	0,000
Criticidad: 23,762						

Tabla 52. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Sistema de Combustible, Unidad 9.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Sistema de Combustible Unidad 9						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	1	6,75	3	0	0
Operación	4	1	6,75	3	5	5
Operación	5	2	40,5	3	10	5
Operación	5	2	6,75	3	5	5
Planificación	5	2	6,75	3	0	0
Planificación	4	2	6,75	3	5	5
Planificación	5	1	6,75	3	25	10
Planificación	2	3	40,5	3	25	25
Mtto. Mayor	5	2	6,75	3	10	5
Mtto. Mayor	5	3	6,75	3	10	5
Mtto. Mayor	5	2	6,75	3	5	5
Taller Mecánico	5	2	6,75	3	25	5
Taller Mecánico	5	3	6,75	3	10	10
Taller Mecánico	5	2	6,75	3	10	5
Taller Mecánico	5	2	6,75	3	10	5
PROMEDIOS	4,400	2,000	11,250	3,000	10,333	6,333
Criticidad:		185,533				

Tabla .53. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Calentadores de Aire, Unidad 9.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Calentadores de aire Unidad 9						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	1	6,5	3	0	0
Operación	1	1	0,65	3	0	0
Operación	4	2	0,65	3	5	0
Operación	3	2	6,5	3	5	0
Planificación	4	3	13	3	0	0
Planificación	3	2	0,65	3	0	0
Planificación	4	2	0,65	3	5	0
Planificación	2	3	3,9	3	5	0
Mtto. Mayor	4	3	0,65	3	5	0
Mtto. Mayor	3	2	6,5	3	0	0
Mtto. Mayor	4	3	0,65	3	0	0
Taller Mecánico	3	3	3,9	3	0	0
Taller Mecánico	3	2	6,5	3	0	0
Taller Mecánico	4	3	0,65	3	0	0
Taller Mecánico	3	3	0,65	3	0	0
PROMEDIOS	3,067	2,333	3,467	3,000	1,667	0,000
Criticidad:		39,117				

Tabla 54.. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Sopladores de Hollín, Unidad 9.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Sopladores de Hollín, Unidad 9						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	3	4	0,6	3	0	0
Operación	2	3	0,6	3	0	0
Operación	3	4	3,6	3	5	0
Operación	3	3	3,6	3	5	0
Planificación	4	3	12	3	0	0
Planificación	3	2	0,6	3	0	0
Planificación	3	2	0,6	3	5	0
Planificación	3	4	3,6	3	10	0
Mtto. Mayor	3	3	3,6	3	0	0
Mtto. Mayor	3	3	0,6	3	5	0
Mtto. Mayor	3	3	3,6	3	10	0
Taller Mecánico	2	3	0,6	3	5	5
Taller Mecánico	3	2	3,6	3	25	10
Taller Mecánico	3	2	3,6	3	5	5
Taller Mecánico	3	2	0,6	3	5	0
PROMEDIOS	2,933	2,867	2,760	3,000	5,333	1,333
Criticidad:		51,564				

Tabla 55. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Ventiladores recirculación de gases
Unidad 9.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Ventiladores de recirculación de Gases, Unidad 9						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	5	0	3	0	0
Operación	1	3	0	3	0	0
Operación	1	4	0	3	5	0
Operación	1	4	0	3	0	0
Planificación	1	2	0	3	5	0
Planificación	1	4	0	3	0	0
Planificación	1	4	0	3	0	0
Planificación	1	5	0	3	0	25
Mtto. Mayor	1	4	0	3	5	0
Mtto. Mayor	1	4	0	3	5	0
Mtto. Mayor	1	4	0	3	0	0
Taller Mecánico	1	5	0	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0	3	0	0
Taller Mecánico	1	5	0	3	5	0
Taller Mecánico	1	4	0	3	5	0
PROMEDIOS	1,000	4,067	0,000	3,000	2,000	1,667
Criticidad:		6,667				

Tabla 56. Ponderaciones para el Cálculo de Criticidad, Bombas de Circulación de la Caldera, Unidad 9.

CONJUNTO GENERADOR JOSEFA JOAQUINA SÁNCHEZ BASTIDAS. RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD Promedios Bombas de circulación de la Caldera, Unidad 9						
Área Entrevistada	1. Frecuencia de Falla	2. MTTR	3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto salud y seguridad personal
Operación	1	4	0	3	0	0
Operación	1	4	0	3	0	0
Operación	1	3	0	3	0	0
Operación	1	4	0	3	0	0
Planificación	2	5	0	3	0	0
Planificación	1	4	0	3	0	0
Planificación	2	4	0	3	0	0
Planificación	1	5	0	3	0	0
Mtto. Mayor	1	4	0	3	0	0
Mtto. Mayor	1	4	0	3	0	0
Mtto. Mayor	1	4	0	3	0	0
Taller Mecánico	1	5	0	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0	3	0	0
Taller Mecánico	1	4	0	3	0	0
PROMEDIOS	1,133	4,133	0,000	3,000	0,000	0,000
Criticidad:		3,400				

APÉNDICE B

MATRIZ DE EXCELENCIA DE MANTENIMIENTO

Tabla 57. Matriz de excelencia de mantenimiento

CATEGORÍA	ELEMENTO	SUB-ELEMENTOS								
1.0 Gestión y Cultura de Trabajo	Evaluación del Rendimiento	Dentro de la Empresa	Fuera de la Empresa	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Meta /Negocios	Metas de Desempeño Organizacional	Metas del Dpto. Mto.	Metas Individuales	Planificación de Negocios	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Organización	Roles y Responsabilidades	Grupos de Especialidades	Contrato de Gerencia	Instalaciones	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Liderazgo	Dirección	Políticas y Procesos	Disciplina	Facultad	Motivación	N/A	N/A	N/A	N/A
	Comunicación	Operaciones, mantenimiento, ingeniería	Líderes a la Fuerza de Trabajo	Fuerza de Trabajo a Gerentes	Reuniones de Grupos Iguales	Comunicación Trabajador - Trabajador	N/A	N/A	N/A	N/A
	Métricas	Metas Globales	Metas del Dpto. Mto.	Metas de Instalación	Satisfacción del Cliente	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Responsabilidad	Desempeño del Personal	Adherencia al Plan de Comunicaciones	Sistema	Propiedad de Herramientas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2.0 Procesos de Mantenimiento	Mejoramiento Continuo	Auto-evaluación	Programa de Gestión de Cambio	Mejoramiento del Proceso	Uso de la Experiencia de Operación	Programa CAP	Actividades	N/A	Solicitud de Ideas de los Empleados	Resolución de Problemas en Equipo
	Identificación del trabajo	Identificación de procedimientos	Mtto. base	Mtto. Correctivo	Mtto. Preventivo	Mtto. Predictivo	Mtto. Proactivo	Generación de órdenes de trabajo	N/A	N/A
	Control del trabajo	Gerencia de procedimientos	Demoras en procesos	Priorizar el trabajo	Evaluación del riesgo	Control de inventario	Planificación	Programación	Contacto con la gerencia	N/A
	Ejecución	Ejecución de procedimientos	Etiquetado de Equipos	Control de herramientas y materiales	Informe pre trabajo	Tareas de Mto.	Calidad del trabajo	Seguridad	N/A	N/A
Cierre	Cierre de procedimientos	Test post Mto.	Crítica de post trabajo	Captura de datos	House Keeping	Retorno de equipos a servicio	N/A	N/A	N/A	

Tabla 57. Matriz de excelencia de mantenimiento. Cont.

3.0 Habilidades Personales / Recursos Humanos	Entrenamiento	Procesos y Políticas	Desarrollo de las Habilidades del Personal	Sistemas de Planta	Desarrollo Gerencia / Supervisor	Alfabetismo de Negocios	Entrenamiento del Contratista	N/A	Entrenamiento en la Especialidad	Instalaciones de Entrenamiento
	Utilización	Interacción Gerencia / Unión	Multi-disciplinas	Fuerza de Trabajo Compartida	Productividad / Medidas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Desempeño Humano	Comportamiento y Valores	Uso de Procedimientos	Auto Chequeo	Chequeo de Iguales	Utilización del Programa CAP	Resolución de Conflictos	N/A	N/A	N/A
	Calificaciones	Selección de Personal	Proceso de Calificación	Proceso de Re-calificación	Calificaciones del Contratista	Programa de Seguimiento de Calificaciones	Planificación Sucesiva	N/A	N/A	N/A
4.0 Tecnologías	Sistema de Gerencia de Mtto.	Sistema computarizado de gerencia de Mtto.	Herramientas de evaluación del riesgo	Herramientas de programación	Reportes y decisiones	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Tecnología de diagnóstico y Mtto.	Herramientas de ejecución	Monitoreo on-line	Monitoreo periódico	Tecnología en software	Utilización de datos de proceso	Herramientas de monitoreo del desempeño de equipos	N/A	N/A	N/A
	Sistema de integración de la información	Financiamiento	Presupuesto y programación	Datos de condición de equipos	Sistema de despacho	Base de datos industrial	Documentación técnica de equipos	N/A	N/A	N/A

Fuente: EPRI, 2003.