



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO
EN CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
DE LA UNIDAD DE FCC PARA UNA REFINERÍA PETROLERA**

Armando Arévalo Chauta.

VALENCIA, JUNIO DEL 2011



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO
EN CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
DE LA UNIDAD DE FCC PARA UNA REFINERÍA PETROLERA**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRICISTA**

Armando Arévalo Chauta.

VALENCIA, JUNIO DEL 2011



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA**



Certificado de Aprobación.

Los abajo firmantes, miembros del jurado asignado para evaluar Trabajo Especial de Grado titulado "**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA UNIDAD DE FCC PARA UNA REFINERÍA PETROLERA**", realizado por: Armando Arévalo Chauta, Cédula de identidad: 13.887.834, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof. Oriana Barrios

TUTOR

Prof. Francisco Arteaga

JURADO

Prof. Ander Miranda

JURADO

VALENCIA, JUNIO 2011



DEDICATORIA

- ❖ **A DIOS todopoderoso**, el más grande y sabio de todos los ingenieros, por darme la luz, espíritu y sabiduría para lograr cada día mis metas... Y acompañarme y afianzar mi fe en todos los momentos de mi vida.

- ❖ **A mis padres Armando y Ana Rosa** por su amor, comprensión y dedicación por enseñarme que con el trabajo tenaz y constante se alcanzan las metas propuestas.

- ❖ **A mis hermanos Roger y Ronald**, por compartir toda la vida juntos y para que sigan luchando y logrando las metas que se tracen en su vida.

- ❖ **A Clara Rosa**, por su inmensurable amor, y comprensión incondicional.

- ❖ **A mi tío Víctor**, por su ejemplo y respaldo en todo momento.

Gracias a todos ustedes por transmitirme ese amor, apoyo, confianza sabiduría y alegría... necesarios para la posible culminación de éste Trabajo Especial de Grado.



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de todo corazón a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron con un granito de arena en el desarrollo de éste proyecto, ellas son:

- ❖ **A toda mi familia**, por estar siempre e mi lado.

- ❖ **A la Universidad de Carabobo**, por brindarme la formación académica e intelectual, con el fin de hacer de mi un profesional que ayude a construir un país prospero y productivo.

- ❖ **A la profesora Oriana Barrios**, tutor académico, por haberme brindado el apoyo y orientación en la culminación de la tesis.

- ❖ **A la Refinería El Palíto**, por brindarme la oportunidad de realizar el Trabajo Especial de Grado en sus instalaciones y obteniendo en ella una excelente experiencia laboral.

- ❖ **A el Ing. Gerardo Lanza y el Ing. José Pavón**, tutores industriales que me ofrecieron su apoyo y orientación técnica durante el desarrollo de la tesis, así como su comprensión y amistad.

- ❖ **A Félix Loyo**, amigo y compañero por su apoyo y asesoramiento oportuno para el logro de los objetivos.



ÍNDICE GENERAL

Descripción	Página
Certificado de Aprobación.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Tabla de contenido.....	vi
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras.....	x
Resumen.....	xii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.	
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Objetivo general.....	6
1.3 Objetivos específicos.....	6
1.3 Justificación de la investigación.....	7
1.4 Alcance.....	8
CAPÍTULO II.	
2.1 Antecedentes.....	10
2.2 Marco teórico.....	14
2.2.1 Descripción del proceso de La Unidad FCC.....	14
2.2.1.1 Sistema de precalentamiento de la carga.....	15
2.2.1.2 Sistema de reacción, despojamiento y regeneración.....	15
2.2.1.3 Sistema de fraccionamiento.....	15
2.2.1.4 Sistema de concentración de gases.....	16



2.2.2 Sistema de control distribuido TDC-3000.....	17
2.2.2.1 Características del sistema.....	17
2.2.2.2 Arquitectura del sistema.....	17
2.2.2.3 Red de control local (LCN).....	18
2.2.2.4 Estación universal.....	19
2.2.2.5 Módulo histórico (HM).....	19
2.2.2.6 Módulo de aplicación (AM).....	20
2.2.2.7 Módulos (APP).....	20
2.2.2.8 El módulo con la interfaz (NIM).....	20
2.2.2.9 Los módulos de la interfaz con la red (HG).....	21
2.2.2.10 El módulo (PHD).....	21
2.2.2.11 Red de control universal (UCN).....	21
2.2.2.12 High Performance Process Manager (HPM).....	22
2.2.3 Políticas de mantenimiento.....	23
2.2.3.1 Mantenimiento correctivo.....	23
2.2.3.2 Mantenimiento preventivo.....	23
2.2.3.3 Mantenimiento predictivo.....	24
2.2.3.4 Mantenimiento mayor.....	24
2.2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).....	25
2.2.4.1 Análisis de criticidad.....	26
2.2.4.2 Análisis de los modos y efectos de falla (AMEF).....	33
2.2.4.3 Fundamentos básicos de la confiabilidad.....	40
2.2.4.4 Modelo optimización costo riesgo (OCR).....	51
2.2.4.5 Sistema integral de gestión de mantenimiento (SIGMA).....	54



CAPÍTULO III.

3.1 Fases metodológicas.....	58
-------------------------------------	-----------

CAPÍTULO IV

4.1 PRIMERA FASE. Fase de diagnóstico.....	62
4.1.2 Selección de instrumento y recolección de datos.....	63
4.1.3 Aplicación de la norma COVENIN 2500-93.....	66
4.1.4 Análisis de los datos y diagnóstico de la situación actual.....	68
4.2 SEGUNDA FASE. Identificación de la ruta de mantenimiento.....	80
4.2.1 Ubicación técnica de los HPM.....	80
4.2.2 Estación de operaciones (GUS).....	85
4.2.3 El módulo histórico (HM).....	86
4.2.4 Módulo de aplicación (AM).....	87
4.2.5 Lo módulos (APP).....	87
4.2.6 Topología actualizada del sistema TDC-3000.....	87
4.3 TERCERA FASE. Análisis de criticidad.....	89
4.3.1 Listado de equipos a estudiar dentro del análisis de criticidad.....	89
4.3.2 Alcance y objetivo del estudio de criticidad.....	89
4.3.3 Lista de instrumentos seleccionados para estudio de criticidad.....	90
4.3.4 Selección del personal a entrevistar.....	92
4.3.5 Recolección de datos.....	92
4.4 CUARTA FASE. Análisis del AMEF en Instrumentación.....	98
4.4.1 Definición de los límites del sistema.....	98



4.4.2	Clasificación de los modos de falla.....	103
4.4.3	Preparación de la hoja AMEF.....	105
4.5	QUINTA FASE. Indicadores de Mantenimiento.....	106
4.5.1	Base de datos y rata de falla $\lambda(t)$	107
4.5.2	Indicadores de Mantenimiento.....	109
4.5.3	Resumen de los indicadores y datos obtenidos.....	118
4.6	SEXTA FASE. Análisis de Optimización de Costo Riesgo (OCR).....	121
4.6.1	Determinación de la frecuencia de inspección de los HPM.....	121
4.6.2	Determinación de la frecuencia de inspección Válvula de control.....	125
4.6.3	Determinación de la frecuencia de inspección de transmisores.....	128
4.6.4	Determinación de la frecuencia de inspección de convertidor.....	131
4.6.5	Resumen de los estudios realizados aplicando el modelo OCR.....	134
4.7	SÉPTIMA FASE. Plan de Mantenimiento Optimizado.....	135
4.7.1	Automatización de la gestión de mantenimiento.....	135
4.7.2	Niveles de mantenimiento preventivo de los sistemas productivos....	137
4.7.3	Procedimientos de inspección de los equipos e instrumentos.....	141
	Conclusiones.....	143
	Recomendaciones.....	146
	Bibliografía.....	148
	Apéndice.....	151
	Anexos.....	200



Índice de Tablas

Descripción	Página
Tabla N° 2.1. Nivel de severidad (NS).....	20
Tabla N° 2.2 Nivel de flexibilidad operacional (FO).....	20
Tabla N° 2.3 Impacto en reparación (IPR).....	20
Tabla N° 2.4 Impacto en seguridad, higiene y ambiente (ISHA).....	20
Tabla N° 2.5 Nivel de ocurrencia de fallas (NO).....	20
Tabla N° 4.1 Ponderación de los criterios frente a las soluciones.....	20
Tabla N° 4.2 Ficha de evaluación	20
Tabla N° 4.3 Análisis porcentual por área.....	20
Tabla N° 4.4 Continuación análisis porcentual por área.....	20
Tabla N° 4.5 Continuación: análisis porcentual de cada área.....	20
Tabla N° 4.6 Tabla 4.6. Fortalezas y debilidades.....	20
Tabla N° 4.7 Identificación de oportunidades y amenazas.....	20
Tabla N° 4.8 Estrategias FO de la matriz FODA.....	20
Tabla N° 4.9 Estrategias FA de la matriz FODA.....	20
Tabla N° 4.10 Estrategias DO de la matriz FODA	20
Tabla N° 4.11 Estratégias DA de la matriz FODA.....	20
Tabla N° 4.12 Clasificación de los HPM por planta y red de control (UCN).....	20
Tabla N° 4.13 Listado de equipos a estudiar dentro del análisis de criticidad....	20
Tabla N° 4.14 Lista de instrumento seleccionados para estudio de criticidad....	20
Tabla N° 4.15 Instrumento de evaluación para análisis de criticidad.....	20
Tabla N° 4.16. Ponderaciones de los parámetros del análisis de criticidad.....	20
Tabla N° 4.17 Resultado de la ponderación del análisis de criticidad.....	21
Tabla N° 4.18 Clasificación taxonómica sensores de proceso.....	20



Tabla N° 4.19	Clasificación taxonómica – convertidores.....	100
Tabla N° 4.20	Clasificación taxonómica – unidad lógica de control.....	101
Tabla N° 4.21	Clasificación taxonómica – válvulas	102
Tabla N° 4.22	Clasificación taxonómica – actuadores en válvulas.....	103
Tabla N° 4.23	Modos de fallas codificación ISO-14224.....	104
Tabla N° 4.24	Modos de fallas (continuación).....	104
Tabla N° 4.25	Base de datos de fallos de planta RELP.....	107
Tabla N° 4.26	Rango de valores de tasa de fallas (Base de datos patrón).....	108
Tabla N° 4.27	Resultados de los valores de disponibilidad para cada equipo...118	
Tabla N° 4.28	Resumen de los indicadores obtenidos para un HPM.....	119
Tabla N° 4.29	Resumen de los indicadores para una válvula de control.....	119
Tabla N° 4.30	Resumen de los indicadores obtenidos para un PDT.....	120
Tabla N° 4.31	Resumen de los indicadores para un convertidor (I/P)	120
Tabla N° 4.32	Resultados del estudio costo – riesgo para un HPM	123
Tabla N° 4.33	Resumen del estudio costo – riesgo para un HPM.....	125
Tabla N° 4.34	Estudio costo–riesgo para un válvula de control.....	127
Tabla N° 4.35	Estudio OCR, para una válvula de control.....	128
Tabla N° 4.36	Estudio costo – riesgo para un PDT.....	129
Tabla N° 4.37	Resumen del estudio OCR, para un PDT	131
Tabla N° 4.38	Estudio OCR, para un convertidor (FY).....	132
Tabla N° 4.39	Resumen del estudio OCR para un convertidor (FY).....	133
Tabla N° 4.40	Resumen general del estudio OCR.....	134
Tabla N° 4.41	Niveles de mantenimiento / HPM TDC-3000.....	138



Índice de Figuras

Descripción	Página
Figura 2.1 Diagrama de La Unidad FCC.....	14
Figura 2.2 Esquema Unidad de FCC.....	16
Figura 2.3 Topología general del sistema TDC-3000.....	18
Figura 2.4 Controlador de procesos de alto rendimiento (HPM).....	22
Figura 2.5 Etapas de implantación del MCC	26
Figura 2.6 Matriz general de criticidad. Fuente	33
Figura 2.7 Flujograma de implantación del AMEF	34
Figura 2.8 Identificación y jerarquización de un sistema	35
Figura 2.9 Plantilla AMEF y el esquema general de las consecuencias.....	39
Figura 2.10 Plantilla AMEF de motor eléctrico	39
Figura 2.11 Representación gráfica de la curva de la bañera.....	41
Figura 2.12 Patrones de fallas que rigen en los equipos	43
Figura 2.13 Ciclo de falla y reparación de un equipo	44
Figura 2.14 Relación entre la confiabilidad y la probabilidad de falla	45
Figura 2.15 Función mantenibilidad	46
Figura 2.16 Representación gráfica de la disponibilidad	48
Figura 2.17 Curva de confiabilidad y distribución exponencial	49
Figura 2.18 Curva de confiabilidad, distribución de WEIBULL	51
Figura 2.19 Modelo de desición costo riesgo.....	52
Figura 2.20 Flujograma del indicador “riesgo	53
Figura 2.21 Pantalla principal para ingresar al programa SIGMA.....	55
Figura 4.1 Escala de resultados por área	72
Figura 4.2 Posicionamiento de PDVSA en el mantenimiento clase mundial	73
Figura 4.3 Áreas de la refinería que controla el TDC-3000.....	81



Descripción	Pág.
Figura 4.4 Ubicación de los HPM en sala de control de FCC.....	81
Figura 4.5 Ubicación de los HPM en el CD-10.....	82
Figura 4.6 Ubicación de los HPM en caseta planta de Oxigenados	82
Figura 4.7 Red de control UCN 05 sala de FCC.....	83
Figura 4.8 Red de control UCN 06 sala de FCC	84
Figura 4.9 Red de control UCN 07 sala de FCC	84
Figura 4.10 Red de control UCN 10 sala de FCC	85
Figura 4.11 Mapa topológico LCN sala de control de FCC.....	86
Figura 4.12 Mapa topológico gabinete LCN sala de control FCC	86
Figura 4.13 Mapa topológico sala de ingeniería	87
Figura 4.14 Esquema general del sistema Reactor – Regenerador	90
Figura 4.15 Esquema de instrumentación del transmisor 61-PDT-17.....	95
Figura 4.16 Matriz de criticidad del instrumento 61-PDT-17.....	97
Figura 4.17 Límite de baterías (Boundary) – sensores de proceso	99
Figura 4.18 Límite de baterías (Boundary) – convertidores	100
Figura 4.19 Límite de baterías (Boundary) – unidad lógica de control	101
Figura 4.20 Límite de baterías (Boundary) – válvulas	102
Figura 4.21 Lazo de control para el análisis de los modos de fallos.....	103
Figura 4.22 Curva de datos de planta vs. datos del fabricante	110
Figura 4.23 Curva entre los datos de planta vs. data del fabricante	111
Figura 4.24 Datos de planta vs. datos del fabricante	112
Figura 4.25 Datos de planta vs. data del fabricante	113
Figura 4.26 Mantenibilidad vs. Tiempo (HPM)	114
Figura 4.27 Mantenibilidad vs. tiempo para válvulas de control	115
Figura 4.28 Mantenibilidad vs. tiempo para transmisores PDT	116
Figura 4.29 Curva de mantenibilidad vs. tiempo para convertidores I/P.....	117



Descripción	Pág.
Figura 4.30 Curva del modelo de decisión costo-riesgo para un HPM	124
Figura 4.31 Modelo de decisión OCR para una válvula de control	127
Figura 4.32 Modelo de decisión OCR, para un transmisor (PDT).....	130
Figura 4.33 Curva OCR para un convertidor (FY).....	133
Figura 4.34 Plan de mantenimiento preventivo del HPM 09/10 de la Planta de FCC.....	136
Figura 4.35 Plan de mantenimiento preventivo del HPM 19/20 de la Planta de FCC	137



RESUMEN

El presente trabajo pretende realizar el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos críticos de instrumentación y control de la Unidad de FCC, basándose en la plataforma automatizada de gestión de mantenimiento actual y empleando los conceptos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

El diseño del sistema de gestión permitirá el procesamiento de una orden de mantenimiento preventivo, identificar claramente el objeto a mantener y asociarlo a la categoría de equipos correspondientes, contener la hoja de ruta asociada al plan de mantenimiento, facilitar o permitir la asociación de planos y documentos relacionados al objeto a ser mantenido (equipos de instrumentación y control).

Los beneficios que desea alcanzarse son:

- Evaluar los indicadores de gestión.
- Eventualmente agregar, eliminar, corregir, revisar el plan de mantenimiento en aplicación.
- Analizar los recursos consumidos y los resultados obtenidos,
- Revisar las fallas de función que ocurrieron y no debería haber ocurrido, verificar si esas fallas habían sido previstas. Si no fue así incluirlas. Si fue así verificar la aplicación de las acciones previstas para evitarlas.



Introducción.

En la actualidad, PDVSA-RELP, maneja una producción de 70 MBDO (miles de barriles por día de operación) de producto refinado a través de la Unidad de FCC; y el éxito de sus operaciones, comprende un complejo manejo de aspectos tales como: personal, equipos, infraestructura física, herramientas (software, equipos de control, manejo y procesamiento de datos entre otros), detección de implantación de mejoras en los diseños, diseños nuevos y otros más. La confiabilidad como concepto macro, abarca áreas tales como: diseño, mantenimiento y operaciones, en tal sentido el conocimiento de factores tales como: condiciones de proceso, procedimientos operacionales o prácticas y calidad de mantenimiento son de gran importancia.

La instrumentación es el elemento clave en los factores mencionados con un papel fundamental en las áreas de control, protección, y seguridad de las instalaciones, por tal motivo es importante definir un proceso que busque mejorar la confiabilidad en sistemas instrumentados. Dado que todo proceso que pretende mejorar la confiabilidad está basado en información sobre el comportamiento del sistema en el tiempo, es necesario establecer un proceso de búsqueda y manejo de información. Lamentablemente, en la mayoría de los casos la información no se encuentra estructurada de forma que facilite la búsqueda del comportamiento histórico de los componentes y que consolide parámetros tales como: fallas en su período de vida útil, tiempos de reparación, planes de mantenimiento e inspección. Esto es debido a que el registro de la información en general adolece de una concentración de criterios y objetivos comunes, incluso dentro de una misma organización y adicionalmente obedece a necesidades de control de gestión.

Por esta razón es necesario realizar una evaluación de los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad e implementar nuevas técnicas de gestión de mantenimiento como el MCC, con el objetivo principal de optimizar el proceso en la organización.



El trabajo especial de grado está estructurado de la siguiente manera:

- **CAPÍTULO I, El problema:** Se hace un relato de la situación actual del sistema de control distribuido TDC-3000 de Honeywell que controla el proceso de la planta refinadora de crudo, así como la instrumentación existente y las estrategias de mantenimiento que están implementando en el Departamento de Automatización. Además contiene la información acerca de los objetivos generales, objetivos específicos, justificación y alcance de éste trabajo.
- **CAPÍTULO II, Marco teórico:** Tenemos las bases teóricas en las que se fundamenta la investigación, las cuales nos describen el proceso de la Unidad de FCC, así como el sistema de control distribuido, los tipos de redes, políticas de mantenimiento, conceptos fundamentales de ingeniería de confiabilidad y técnicas para aplicar la metodología del análisis de efectos de falla (AMEF), criticidad y optimización costo riesgo (OCR).
- **CAPÍTULO III, Marco metodológico:** Se describen las fases que se cumplirán para ir solventando cada uno de los objetivos específicos planteados en el capítulo I, así como la metodología que se debe seguir.
- **CAPÍTULO IV, Resultados:** Donde se muestran los resultados obtenidos en esta investigación, estos a la vez guardan concordancia con los objetivos específicos planteados en el capítulo I y su logro se llevará a cabo utilizando la metodología que se describió en el capítulo III.
- **Conclusiones y recomendaciones:** Se dejan sentadas las conclusiones y recomendaciones, producto de los estudios realizados en este trabajo.



EL PROBLEMA

C
A
P
Í
T
U
L
O
I



CAPÍTULO I.

1.1 Planteamiento del problema.

Uno de los aspectos claves para el éxito de las empresas modernas tiene que ver con la eficiencia en el uso de los diferentes recursos, bien sean técnicos o materiales, que intervienen en sus procesos operativos y de producción. Mientras más eficientes sean los procesos relacionados, mayores serán los ahorros de tiempo y recursos, en consecuencia mayor será la rentabilidad de la empresa.

Petróleos de Venezuela (PDVSA), como empresa fundamental para el Estado venezolano no escapa a esa necesidad de maximizar la eficiencia en cualquiera de las áreas relacionadas con sus actividades operativas. Por esta razón se hacen necesarias las propuestas que contribuyan a mejorar situaciones que en los momentos actuales puedan resultar deficientes.

La Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) es una de las plantas más importantes de la Refinería El Palito, actualmente procesa los gasóleos pesados provenientes de la Unidad de Destilación al Vacío. Los productos que se obtienen de ésta Unidad son: gas combustible, olefinas y gas licuado del petróleo, naftas catalíticas, livianas, medianas y pesadas, aceite cíclico y aceite lodoso. [1]

Desde el punto de vista de equipos de automatización, los sistemas de control existentes para la Unidad de FCC son:



- **El sistema de control distribuido TDC-3000 de HONEYWELL.**

Se puede resumir como un sistema de control de procesos digital con adquisición de datos que incluye un completo juego de algoritmo de las variables de los distintos procesos de la unidad, logrando así su control y monitoreo.

- **Sistema de protección de parada de emergencia.**

- Sistema de Desvío Automático de Carga.
- Sistema de Parada de Emergencia del Tren Recuperador de Potencia.
- Sistema de Parada de Emergencia del Compresor de Gas Húmedo.[2]

- **La instrumentación de la Unidad de FCC.**

La Unidad de FCC cuenta con más de 5000 instrumentos, la gran mayoría de tecnología inteligente basándose en los protocolos de comunicación Hart y Fieldbus.

Los sistemas de control y la instrumentación asociada de la Unidad de FCC, ha pesar de ser un sistema robusto y confiable ha venido presentado fallas de distintos niveles de hardware y software, siendo algunas de nivel crítico que ha puesto en riesgo las operaciones de la Planta. En los últimos años la gestión de mantenimiento se ha centrado en realizar mantenimientos correctivos y los registros de los mismos de forma manual. Actualmente se está finalizando la reparación mayor de la planta, con lo cual la instrumentación crítica fue sometida a dicho mantenimiento, siendo el escenario adecuado para ejecutar planes de mantenimiento preventivo. Recientemente la refinería adquirió un sistema moderno de mantenimiento en línea para la instrumentación, el cual no ha sido aprovechado en sus bondades debido que el personal



encargado, actualmente no se encuentra capacitado para explotar todas las herramientas que ofrece dicho sistema. [3]

Debido a lo antes expuesto el Departamento de Automatización tiene la necesidad de realizar estudios y desarrollar estrategias de mantenimiento preventivo, con el propósito de disminuir las ocurrencias de fallas y mantenimientos correctivos, llevar registros de índices de gestión para la toma de decisiones con el propósito de mejorar la confiabilidad de sus equipos.

En tal sentido el siguiente trabajo de grado propone el diseño de un sistema de gestión automatizado de mantenimiento centrado en confiabilidad que permita obtener los beneficios antes mencionados. Este diseño comprende la escogencia de un Modelo de Planificación y Gestión que se adapte a los estándares, normas y herramientas tecnológicas que disponga la Empresa.

1.2 Objetivo general

Diseñar un sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad de los equipos de instrumentación y control de la Unidad de FCC para una refinería petrolera.

1.3 Objetivos específicos.

- Diagnosticar el estado actual de la gestión de mantenimiento de los sistemas de instrumentación y control de la Unidad de FCC para determinar las necesidades y oportunidades existentes.



- Realizar el estudio integral de los equipos y sistemas, en base al análisis de criticidad, modos de falla, para delimitar y priorizar el área de estudio.
- Diseñar y configurar la estructura de mantenimiento basado en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), para cargar inventario de equipos, crear las rutas de mantenimiento, clasificar los niveles y frecuencia de mantenimiento.
- Definir los índices de gestión para evaluar y controlar el sistema de gestión de mantenimiento, tomando como referencia las metas de organizaciones y empresas clase mundial.

1.4 Justificación.

El diseño de un Sistema de Gestión de Mantenimiento para el Departamento de Automatización de la Refinería El Palito, dirigido a equipos de control e instrumentación se considera necesario y de gran importancia ya que ayudará a minimizar las fallas recurrentes, permitirá disminuir los mantenimientos correctivos que implican grandes costos económicos, proporcionará registros y documentación actualizada de todas las actividades de mantenimiento, permitirá identificar oportunamente condiciones y necesidades de actividades de mantenimiento en vez de reaccionar en caso de emergencia, todo esto permitiendo optimizar los recursos humanos, técnicos y económicos. Las consecuencias de no elaborarse este trabajo es no prevenir las fallas oportunamente manejar en gran porcentaje la condición de urgencias originando estrés e impactos negativos en los costos de mantenimiento y costos operacionales, obteniendo un bajo nivel de confiabilidad y disponibilidad de los sistemas e instrumentos el cual refleje una gestión de mantenimiento poco eficiente.



Por otra parte, la realización de este tema de trabajo de grado, es aplicable a otras empresas del área adaptándose a sus características y necesidades inherentes. Serviría para incentivar al estudiantado que participe activamente y tome conciencia de la importancia de la aplicación de una gestión de mantenimiento dirigida a equipos de instrumentación y control, acorde a las condiciones y necesidades de la empresa, sus principios e impacto en la industria, ampliando su formación ética y profesional.

1.5 Alcance.

El diseño de un sistema automático de gestión de mantenimiento para equipos de instrumentación y control de la Unidad de FCC, soportado sobre una plataforma de software y hardware existente en la empresa, contemplará el diagnóstico actual de la gestión de mantenimiento por parte del departamento de automatización, estudio de criticidad de los equipos, elaboración de hoja de ruta, diseño de formato de mantenimiento. A continuación se presenta un esquema representando un modelo general propuesto para la gestión y planificación del mantenimiento



MARCO TEÓRICO

C A P Í T U L O I I



CAPÍTULO II

2.1 Antecedentes del problema.

En esta sección se presenta un resumen de investigaciones realizadas en el área de estudio que bien sea por su contenido o metodología, servirán de base para el desarrollo del Trabajo Especial de Grado.

- **Vásquez David. “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad MCC en motores Detroit 16V-149TI En CODELCO DIVISIÓN ANDINA” Universidad Austral de Chile (2008).**

El objetivo principal que persiguió el trabajo fue elaborar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), para aumentar la disponibilidad de los motores Detroit Diesel 16V-149TI, de la sala de generación de emergencia en CODELCO División Andina. La motivación central del desarrollo de esta tesis se basa en que son equipos de alta criticidad, y la pérdida de sus funciones durante una situación de emergencia eléctrica causaría serios problemas en los servicios básicos eléctricos en el sector industrial y una detención en los equipos críticos que intervienen en el proceso.

Tal investigación permitió concluir que el MCC se puede aplicar a cualquier equipo o conjunto de ellos. Lo fundamental es preparar una persona experta o facilitador en MCC y alimentarlo con el personal técnico, que es el que tiene los conocimientos de los activos, en cuanto a funcionamiento, operación, fallas, mantenciones, etc.



Al realizar este análisis se generó una base de datos con información actual y detallada de todas las fallas que han sucedido y que posiblemente sucedan al equipo. Cabe destacar que la idea de un análisis MCC es su retroalimentación; o sea no basta con quedarse con el análisis en sí, a medida que vayan sucediendo fallas no consideradas, éstas deben ser incluidas en el análisis junto con su tarea proactiva asociada.

El aporte de esta investigación está en los conceptos y metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) que aplican en los objetivos planteados para solucionar el aumento de la disponibilidad de los motores Detroit Diesel 16V-149TI de generación eléctrica y asegurar la continuidad operativa de la planta en caso de fallas en el servicio eléctrico.

- **Escalona Luís “Diseño de un sistema para la detección de fallas en plantas compresoras con mantenimiento centrado en confiabilidad usando lógica difusa”. Universidad de Carabobo (2003).**

El objetivo principal fue diseñar un sistema para el tratamiento de las fallas en la planta compresora de gas PIGAP I ubicada en el complejo MUSCAR PDVSA basándose en mantenimiento centrado en confiabilidad empleando los conceptos de Lógica Difusa. El sistema trabaja con variables empleadas para la supervisión del sistema de gas de proceso de los cinco trenes compresores que conforman la planta compresora. El trabajo contempló el empleo de un sistema de inferencia difusa que emplea un conjunto de reglas orientada a la detección de fallas funcionales o estado de falla de acuerdo a la metodología de mantenimiento, para trabajar con un reporte generado en la búsqueda de tareas, empleando las herramientas proporcionadas por Matlab.



Tal investigación permitió concluir que el desarrollo de una base de conocimiento basada en el mantenimiento centrado en confiabilidad además de la lógica difusa permitió la clasificación de la información proveniente de esta metodología interactuando a su vez con el sistema de inferencia difusa con la ayuda de algoritmos basados en lógicas convencionales.

El aporte de ésta investigación está en los conceptos y metodología del análisis y efectos de los modos de falla (AMEF) que aplican en los objetivos planteados para la caracterización de las fallas y así relacionar la generación de un reporte, con las tareas específicas que deben aplicarse en los sistemas de compresores.

- **Martínez Ramón “Actualización del sistema de control distribuido TDC 3000 de La Refinería el Palito” Universidad de Carabobo (2000).**

El objetivo principal fue evaluar desde el punto de vista técnico y económico las diversas alternativas de actualización y/o sustitución que requiere la plataforma para el control de los procesos de las Unidades de Crudo, Vacío, PTR, HDT, FCC, Alquilación, Oxigenados y Tratamiento de la Refinería El Palito.

Tal investigación permitió concluir que los resultados obtenidos en la evaluación técnica-económica, arrojan que la propuesta más atractiva en ese momento y para el reemplazo programado es la arquitectura remota basada en los controladores HPM, ésta es la opción tecnológica de más alto nivel disponible en el mercado y de mayor beneficio para la implantación de nuevos proyectos, incorporación de estrategias de control avanzado, facilidades de diagnóstico, mantenimiento y garantía de la continuidad operativa de las Unidades de Proceso de la Refinería El Palito.



El aporte de ésta investigación está en los conceptos y teorías del sistema TDC 3000 de Honeywell, es nuestro sistema de estudio para aplicar la gestión de mantenimiento y es el que controla los procesos de las distintas plantas de la Refinería.

• **Flores Carlos. “Evaluación de los sistemas instrumentados de seguridad de los equipos críticos de La Refinería El Palito. Universidad de Carabobo (2000).**

El objetivo principal que persiguió el presente trabajo es el de evaluar los sistemas instrumentados de seguridad (SIS) en los equipos más críticos en la Refinería El Palito y así constatar el cumplimiento de desempeño requerido, además de verificarlos dentro de las normas vigentes. Los sistemas instrumentados de seguridad evaluados fueron los siguientes:

- ✓ Sistema de Desvío Automático de Carga en FCC.
- ✓ Sistema de Parada de Emergencia del Tren Recuperador de Potencia. G-6101.
- ✓ Sistema de Parada de Emergencia del Compresor de Gas Húmedo. G-6223.
- ✓ Sistema de Parada de Emergencia de los Compresores de Gas de Reciclo. G2002 y G-4303.
- ✓ Sistema de Parada de Emergencia de las Calderas B-7451, B-7452 y B-7453.

Tal investigación permitió concluir que se han evaluados los sistemas instrumentados de seguridad de la mayoría de los equipos críticos más importantes dentro de la Refinería y con ellos ha surgido una propuesta en cada uno de los SIS que permitirán incrementar la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas. Es importante reconocer que los estándares que están surgiendo permiten cuantificar que tan eficiente es el sistema de seguridad punto que en el pasado no marcaba pauta dentro de la ingeniería de confiabilidad.



El aporte de éste trabajo de grado está en el área de confiabilidad, en base a su teoría y metodología aplicado a la Unidad de FCC, planta que es objeto de estudio en nuestra investigación, también aporta datos y referencias importantes como las distintas ratas de fallas $\lambda(t)$ de instrumentos críticos, que servirán de insumo para los distintos cálculos en nuestros objetivos planteados.

2.2 Marco teórico.

2.2.1 Descripción del proceso de La Unidad de Craqueo Catalítico fluidizado (FCC).

La Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado de la Refinería El Palito está diseñada para procesar una corriente de alimentación de 70.000 BPD y 82 % de conversión. El craqueo catalítico fluidizado (FCC), es un proceso en el que los productos excedentes (gasóleos combinados) obtenidos por medio de los procesos primarios de destilación (atmosférica y vacío), son convertidos en productos de mayor valor; tales como: gasolinas, olefinas y residuales. El proceso consiste en la desintegración de las moléculas de gasóleo en presencia de un catalizador sólido en forma de partículas esféricas, el cual se comporta como un fluido cuando se airea con vapor. Un esquema general de la Unidad se muestra en la figura 2.1.

2.2.1.1 Sistema de precalentamiento de la carga.

Las diferentes corrientes que conforman la carga a ser procesada en la unidad de FCC, son combinadas y enviadas a un tambor de compensación, el cual provee un flujo de alimentación estable a las bombas de carga y sirve como equipo de separación de agua o vapor que pueda estar contenido en esta. La carga combinada de este tambor es calentada entre 350 – 450 °F usando como fuente de calor un sistema de intercambiadores con corrientes de reciclo del fondo



de la fraccionadora. El precalentamiento de la carga provee una herramienta para variar fácilmente la relación catalizador/aceite. En las unidades donde el compresor de aire constituye una restricción de aumentar la temperatura de precalentamiento permite aumentar el nivel de procesamiento. [1].

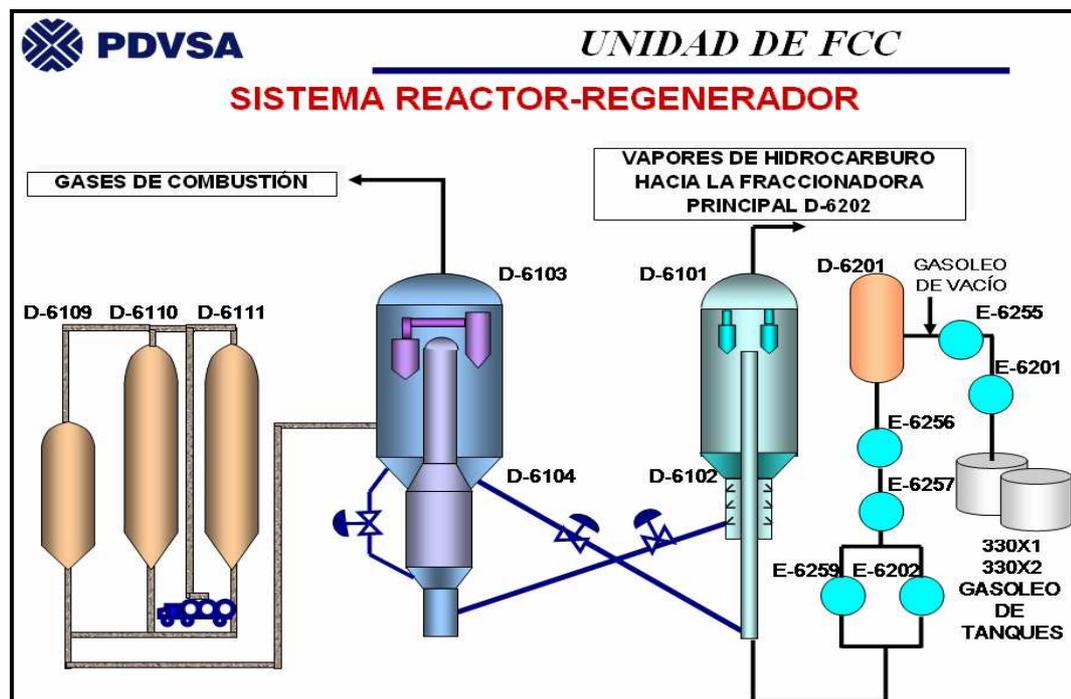


Figura 2.1 Diagrama de La Unidad FCC. Fuente: Manual Unidad de FCC. PDVSA (2004).

2.2.1.2 Sistema de reacción, despojamiento y regeneración.

El sistema Reactor-Regenerador constituye el corazón del proceso de la Unidad de FCC. En la unidad todas las reacciones ocurren en el tubo elevador (Riser) en un período de dos a cuatro segundos antes de que el catalizador y los productos se separen en el Reactor. La carga proveniente de la sección de precalentamiento, entra al Riser cerca de la base, a través de varias boquillas de inyección, poniéndose en contacto con el catalizador regenerado con una relación catalizador/aceite en el rango de 4:1 a 9:1.



2.2.1.3 Sistema de fraccionamiento.

La fraccionadora principal tiene por función condensar y separar los productos de reacción, el cual implica la condensación y revaporización de los compuestos de hidrocarburos mientras el vapor fluye ascendentemente a través de los platos y empaque de la torre. La operación de esta columna es similar a la de una torre de destilación atmosférica de crudo, ya que fracciona la carga en productos similares, pero con dos diferencias: no necesita de una zona de vaporización sino más bien de un sistema de enfriamiento de los vapores de reacción y requiere de una zona de separación del catalizador arrastrado al fondo de la torre (ver figura 2.2). [1]

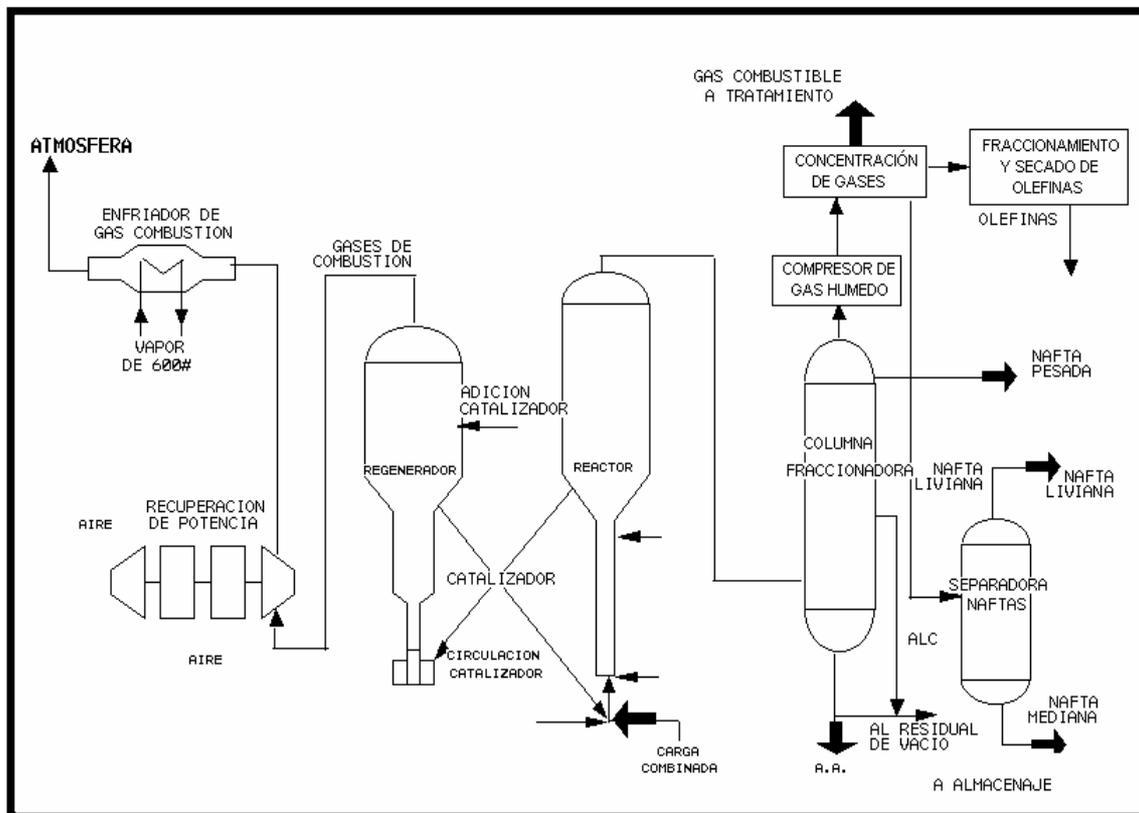


Figura 2.2 Esquema Unidad de FCC. Fuente: Manual de Ingeniería PDVSA. (2000).



2.2.1.4 Sistema de concentración de gases.

Este sistema constituye una unidad aparte denominada Gascon y su principal función es separar la gasolina no estabilizada y los gases livianos de tope de la fraccionadora en gas combustible, compuestos C3's, C4's y gasolina. Generalmente esta unidad está constituida por un compresor de gas húmedo, un absorbedor primario, un absorbedor secundario, un despojador de H₂S, una Depentanizadora, una Depropanizadora y una torre Secadora. Los vapores de hidrocarburo fluyen al compresor de gas húmedo. El término gas húmedo se refiere a los componentes condensables que contiene el gas, ya que a las condiciones de operación del acumulador de tope, la corriente de gas al compresor contiene no sólo Etano y livianos sino también alrededor de 90% de los C3's y C4's y el 10% de la gasolina producida. [1].

2.2.2 Sistema de control distribuido TDC-3000.

El Sistema de control distribuido TDC-3000 de Honeywell, es un sistema de control de proceso digital con adquisición de datos que incluye un completo juego de algoritmos de las variables de distintos procesos industriales, logrando así su control y monitoreo. Este suministra información, control integrado, y una poderosa interfaz con el operador para satisfacer todas las necesidades de automatización desde la más simple hasta la más compleja. Está acompañado del uso de una ventana simple hacia las operaciones y tiene la capacidad de recibir información de estaciones externas basadas en diferentes sistemas operativos tales como: UNIX y Windows NT, directamente a la pantalla que se expone al operador, simultáneamente con la representación visual del proceso. [2]

2.2.2.1 Características del sistema.

El sistema TDC-3000 está constituido por un conjunto de equipos tales como dispositivos conectados a procesos, para la adquisición de datos y control de procesos básicos, estación del operador, estación de ingeniería, módulos de procesamiento discretos, para trabajar funciones específicas (controles avanzados, colección de historia y cálculo) y módulos de interfaz o



Gateway, que conectan los procesos a la red de comunicación. Usando el conjunto de equipos mencionados, el sistema TDC-3000 satisface un amplio rango de información y requerimientos de control que incluye, ventana al proceso, adquisición de datos, manejo de niveles de control, control continuo y discontinuo, manejo de datos históricos entre otros.

2.2.2.2 Arquitectura del sistema.

La arquitectura del sistema de control distribuido TDC-3000, se encuentra conformada por cuatro redes de comunicación encargadas de manejar el flujo de información de los dispositivos que integran la plataforma de control del sistema. Estas redes son la Red de Control Local (LCN), Red de Control Universal (UCN), Hiway de Datos (DATA HIWAY) y la Red de Información de Planta (PIN).(ver figura 2.3).

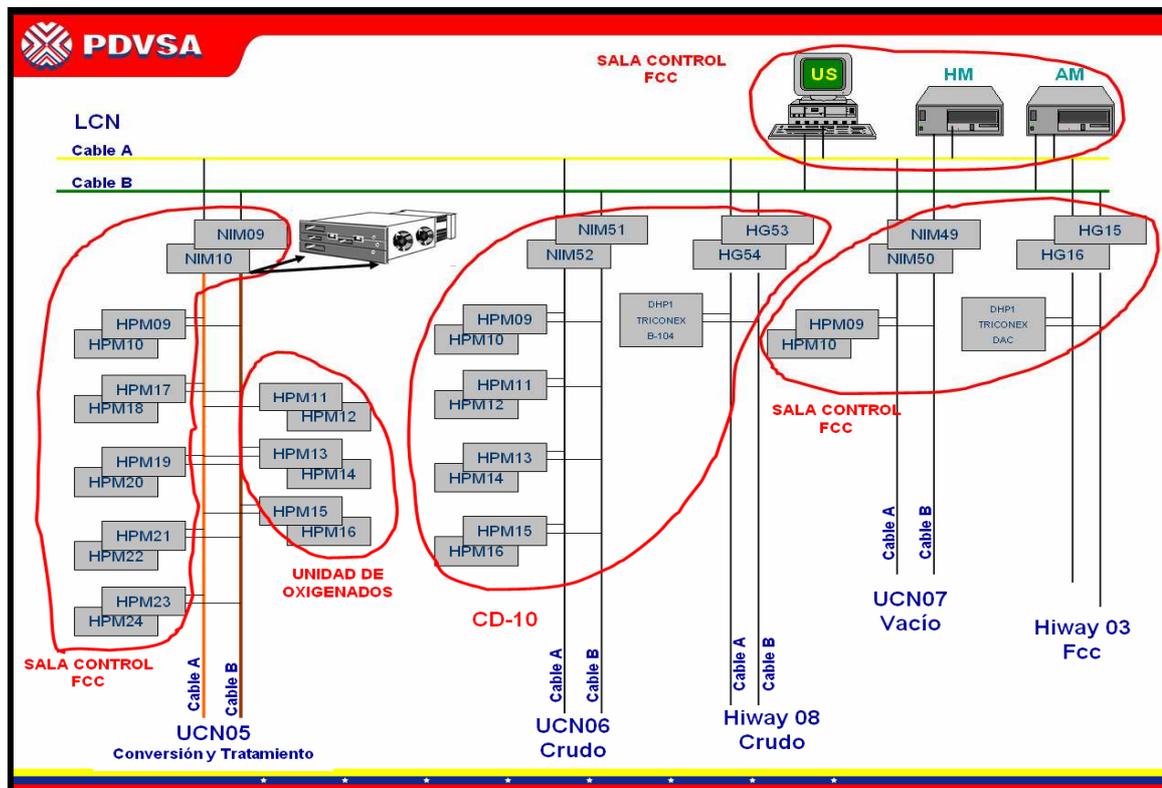


Figura 2.3. Topología general del sistema TDC-3000. Fuente propia.



2.2.2.3 Red de control local (LCN).

La Red de Control Local (Local Control Network, LCN), es la rama principal del sistema TDC-3000, conecta las estaciones del operador, los módulos de procesamiento, y los módulos de interfaz o gateway. La LCN es básicamente un bus de comunicación serial que opera a una velocidad de 5 Megabytes por segundo y usa un protocolo de paso autorizado especial de comunicación, basado en los estándares de la IEEE-802. Físicamente es un par de cables coaxiales de 75 ohm, con una longitud máxima de 300 metros, uno de los cables se usa como activo y el otro como redundante, esta red posee una capacidad para operar dentro de su configuración hasta 64 módulos y es posible extenderla para aumentar su cobertura e incrementar el número de módulos.

2.2.2.4 Estación universal

- **Estación de operaciones (US).**

Permite monitorear toda la información de los dispositivos conectados al proceso, subsistemas de instrumentación y computadoras. La información es desplegada en un monitor de tecnología táctil de alta resolución, y las diferentes ventanas a mostrar son accedidas de diferentes maneras, ya sea presionando una tecla en el tablero de control o, a través de la selección de un área específica en el monitor. [2]

- **Estación universal de trabajo (UWS).**

Posee un teclado de ingeniería que permite hacer labores avanzadas tales como realizar cambios o adiciones en la configuración del sistema, también es usada por el técnico de mantenimiento para analizar mensajes de error y para ubicar con precisión los problemas del sistema. De igual forma la estación permite al supervisor de procesos monitorear el proceso,



obtener reportes y otras opciones de interés. La Estación Global Universal (GUS), se encarga de realizar las funciones de las dos estaciones anteriores, de la estación de operación y trabajo.

2.2.2.5 Módulo histórico (HM).

Almacena programas de imágenes, y todo lo concerniente con: la base de datos, la información de diagnóstico, y los datos de la historia del sistema. Todo opera bajo un lenguaje propio del sistema TDC-3000. La capacidad de almacenaje del HM, es de 2400 puntos y está determinada por el ingeniero, según sean los requerimientos de historia de los equipos sobre la LCN, la Data Hiway y la UCN. Todas las operaciones necesarias para el almacenaje de los datos en el HM, son controladas por el sistema TDC-3000 y ocurren automáticamente, todas estas operaciones son invisibles al operador.[2]

2.2.2.6 Módulo de aplicación (AM).

Están destinados a la implementación de estrategias de control avanzado, que superen la capacidad de los controladores ubicados sobre las redes de datos. Debido a que el AM, se encuentra ubicado en la red LCN, aprovecha el acceso a una extensa información sobre el funcionamiento del proceso.

2.2.2.7 Módulos (APP).

Cumplen con la misma función del módulo AM, son computadores que trabajan con lenguajes de programación que corren en ambiente Windows NT y UNIX respectivamente, los cuales poseen una interfaz que les permite comunicarse con el sistema TDC-3000, para la transferencia de datos empleados en las aplicaciones y algoritmos de control almacenados en los mismos.



2.2.2.8 El módulo con la interfaz (NIM).

Conecta la Red de Control Universal (Universal Control Network, UCN) con la Red de Control Local (Local Control Network, LCN). Este módulo se encarga de transmitir los eventos y las informaciones de alarmas a los módulos que se encuentran en la Red de Control Local, a su vez responden con los requerimientos de estos módulos para ofrecerle toda la información posible del proceso. El módulo se encarga de hacer el cambio de configuración, y base de datos para los diferentes módulos conectados a la Red de Control Universal. También examina los puntos del proceso, y chequea el estado de los dispositivos de la Red UCN.[2]

2.2.2.9 Los módulos de la interfaz con la red (HG).

Suministran la conversión, el almacenamiento intermedio y el procesamiento de datos necesarios para lograr un intercambio eficaz de información entre la red de control local y dispositivos que tienen diferentes protocolos y velocidad de comunicación. El Gateway de la red de data Hiway vincula la red LCN con la red de datos y dispositivos del TDC-3000, conectados al proceso. El HG, detecta eventos significativos en el proceso a través de la red data Hiway y lo notifica apropiadamente a los módulos de la red LCN. El módulo Network Gateway (NG) es una interfaz de redes que permite conectar dos redes de control local.

2.2.2.10 El módulo (PHD).

Es un equipo con una interfaz de adquisición de datos que le permite a la Red de Información de planta visualizar información del sistema TDC-3000, como por ejemplo datos de las variables de proceso, históricos, registros, status de los instrumentos, entre otros.



2.2.2.11 Red de control universal (UCN).

La función de la Red de Control Universal (UCN), es comunicar a través del NIM los dispositivos conectados en el proceso, con los módulos de la Red de Control Local. Los dispositivos conectados a la Red de Control Universal son los Process Manager (PM), Avanced Process Manager (APM), High Performance Process Manager (HPM), Safety Manager (SM) y el Logic Manager (LM). [2]

2.2.2.12 High Performance Process Manager (HPM).

Es el controlador líder del TDC-3000 y el dispositivo más avanzado en la adquisición de datos de los procesos industriales de Honeywell, se puede apreciar en figura 2.4. Su nueva plataforma de procesadores doble 68040, ofrece un rango poderoso de capacidad que mejora los requerimientos de control de procesos industriales. Este ofrece unas funciones altamente flexible tanto de entrada como de salida para el control y el monitoreo de los datos. La capacidad del HPM incluye: ejecutar la adquisición de datos y funciones de control, incluyendo funciones de control regulatorio lógicos y secuenciales para aplicaciones continuas y discontinuas o una combinación de estas, así como también comunicación “par a par”, con otros dispositivos residentes en la Red de Control Universal. Comunicación bi-direccional a Modbus y Allen-Bradley, consiguiendo así una compatibilidad de los sistemas. Una comunicación completa con operadores e ingenieros en la Estación Universal y Estación de Trabajo Universal.

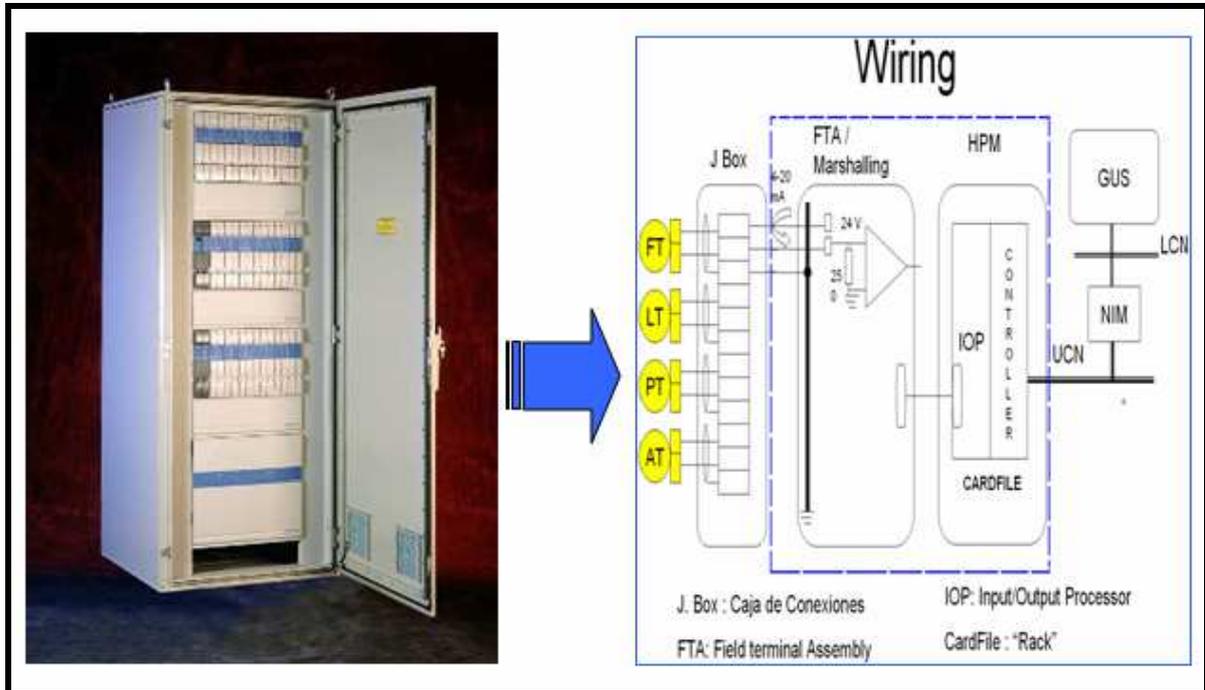


Figura 2.4 Controlador de procesos de alto rendimiento (HPM).

Fuente: Manual del TDC-3000.

2.2.3 Políticas de mantenimiento.

La política de mantenimiento son estrategias que consideran todas las actividades que aseguren, que el activo continuará realizando sus funciones previstas para su vida operacional. Estas estrategias deben enfocarse en planes proactivos para detectar, mitigar, eliminar ó aceptar las consecuencias de los modos de falla, basados en el impacto ó el riesgo de la falla en la seguridad, el ambiente, el costo y la producción.

2.2.3.1 Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo es el costo efectivo de reparar ó reemplazar los componentes de los activos que estaba prevista su falla o tenían problemas de funcionamiento. El mantenimiento



correctivo puede ser programado o no programado si resulta de una falla funcional. Las actividades de mantenimiento correctivo pueden ser identificadas como programadas como resultado de la aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo (detección de falla / monitoreo de condición) o mantenimiento preventivo (reducción de falla).

El mantenimiento correctivo no programado se aplica normalmente a los activos de baja criticidad y se debe utilizar solamente como estrategia del mantenimiento cuando el costo de la reparación ó reemplazo no es significativo comparado con las otras estrategias de mantenimiento del activo y el tiempo de reparación no es importante.

2.2.3.2 Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo es el costo efectivo de las actividades periódicas de mantenimiento, inspección y lubricación realizadas para reducir al mínimo las interrupciones y el deterioro del activo. Las actividades de mantenimiento preventivo se hacen cada intervalo específico de tiempo para reducir fallas y extender la vida útil del activo. La mayoría de las actividades de mantenimiento preventivo se realizan sobre la base de un período programado y optimizado de tiempo. Aunque se han propuesto numerosos métodos para determinar la frecuencia correcta de las actividades de mantenimiento preventivo, ninguno es válido a menos que las características del tiempo en servicio y confiabilidad del activo sean conocidas. La mejor aproximación, sino se dispone de buena información es monitorear la condición del activo. El mantenimiento preventivo aplica a los activos de todos los niveles de criticidad. Un programa de mantenimiento planificado adecuado debe incluir actividades de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.



2.2.3.3 Mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo es el costo efectivo de monitoreo de condiciones y actividades de inspección realizadas para detectar las fallas o defectos cuya eliminación o reducción puede ser programada como mantenimiento correctivo.

La finalidad del monitoreo de condiciones es determinar la condición del activo y poder desarrollar una tendencia con la cual pronosticar el comportamiento futuro del activo. Los datos del monitoreo se recogen y se analizan para determinar la condición del activo. Basándose en este análisis, las actividades del mantenimiento correctivo se pueden programar lo más ajustado posible a las necesidades del negocio. Para propósitos de tendencias, se requiere un mínimo de tres puntos (los períodos específicos y las localizaciones de inspección) antes de que ocurra la falla. Dos puntos de referencia establecen la tendencia y el tercer punto de referencia aporta la confirmación. El monitoreo de condiciones y actividades de inspección se deben aplicar a los activos en todos los niveles de criticidad cuando sea práctico y económico.

2.2.3.4 Mantenimiento mayor.

Mantenimiento preventivo y/o correctivo que se ejecuta a una o varias instalaciones y/o sistemas para restablecer o conservar sus condiciones operacionales y para ejecutar dicho mantenimiento se requieren para la producción. La programación es diferente a la del mantenimiento preventivo, con frecuencias de ejecución generalmente mayores de un año.

2.2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).

El MCC, es una metodología que permite identificar las políticas de mantenimiento óptimas para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción, esta metodología demanda una revisión sistemática de las funciones que conforman un proceso



determinado, sus entradas y salidas, las formas en que pueden dejar de cumplirse tales funciones y las tareas de mantenimiento óptimas para cada situación (predictivo, preventivo, correctivo), en función del impacto (seguridad, ambiente, dinero, unidades de producción), según norma SAE – JA1011 de 1999. [13] [14].

La aplicación adecuada de las nuevas técnicas de mantenimiento bajo el enfoque del MCC, permiten de forma eficiente, optimizar los procesos de producción y disminuir al máximo los posibles riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente , que traen consigo los fallos de los activos en un contexto operacional específico.[12].

- **El MCC es necesario, por que?**

- Responde a las debilidades derivadas de los enfoques tradicionales de mantenimiento.
- Permite asociar y sopesar los riesgos del negocio con el fallo de activos.
- Facilita de manera sistemática, la determinación del enfoque óptimo que se le deben dar a los recursos de la función mantenimiento.[12]

Su aplicación busca definir estrategias de mantenimiento que:

- Mejoren la seguridad.
- Mejoren el rendimiento operacional de los activos.
- Mejoren la relación coste / riesgo-efectividad de las tareas de mantenimiento.
- Sean aplicables a las características de una falla.
- Minimicen la ocurrencia de fallos, o al menos sean efectivas en mitigar las consecuencias una vez ocurrida la misma, es decir, un mantenimiento que funcione y sea coste-efectivo.
- Sean documentales, auditables y susceptibles de actualizar.



En la figura 2.5, se representa las etapas de implantación del MCC, que servirá de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional, una vez que se ha seleccionado el área piloto y se conoce de forma general la importancia de cada área de la organización.

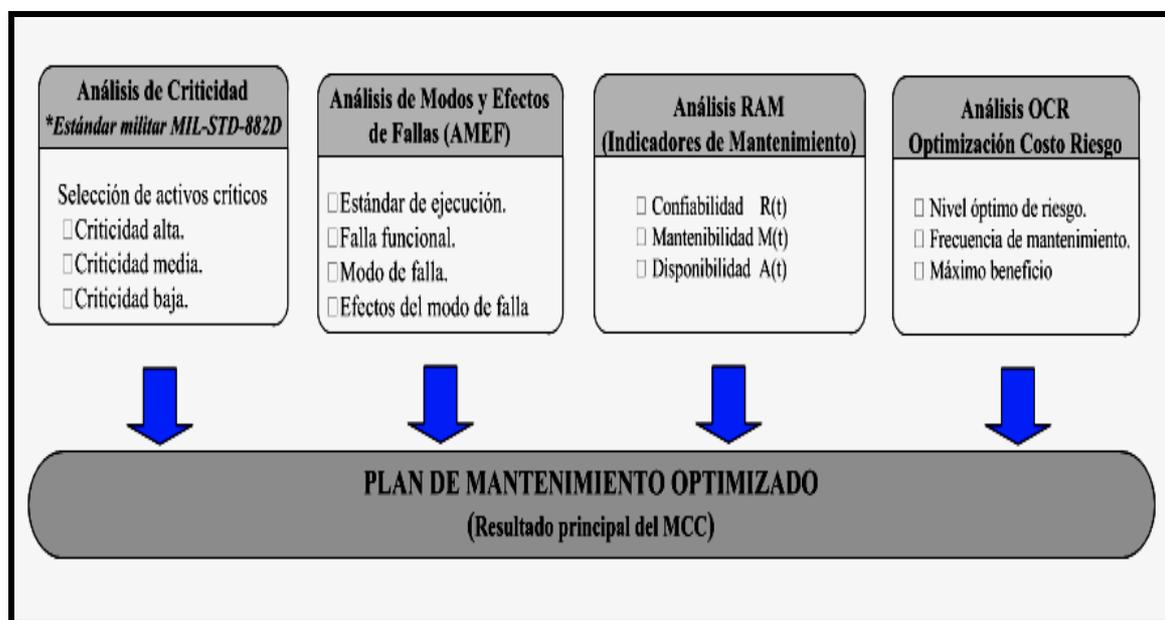


Figura 2.5 Etapas de implantación del MCC. Fuente propia.

2.2.4.1 Análisis de criticidad.

El análisis de criticidad es una técnica semi-cuantitativa de cuantificación del riesgo sustentada primordialmente en la “opinión de expertos”; que permite “jerarquizar activos” (componentes, equipos, sistemas o procesos), en base a un indicador llamado “criticidad” que es proporcional al riesgo. Por su carácter semi-cuantitativo, el “espíritu” del análisis es básicamente establecer un “ranking”, los valores obtenidos ingresan a una matriz en donde se clasifican como criticidad alta, media o baja.



Existen varios métodos entre los cuales:

- El estándar militar MIL-STD-882 D, esta norma es utilizada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América. Establece valores del riesgo de acuerdo con la severidad de los accidentes y la probabilidad de ocurrencia de los mismos.
- El modelo de “factores ponderados” basado en la teoría de riesgo. Este método fue desarrollado por un grupo de consultoría inglesa denominado: “The Woodhouse Partnership Limited” y adaptado por PDVSA – INTEVEP.

Este es un método semicuantitativo bastante sencillo y práctico soportado en el concepto de riesgo y se fundamenta en la ecuación 2.1, mostrada a continuación:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia de fallas} \times \text{Consecuencia de fallas} \quad (2.1)$$

- **Análisis cuantitativo de riesgos.**

Método de ingeniería y formulaciones matemáticas, combinadas con información estadística de fallas, para producir resultados numéricos de consecuencias de accidentes y sus frecuencias ó probabilidades de ocurrencia, usados para estimar riesgos.

- **Consecuencia:**

Está referido al efecto ocasionado por una acción y puede estar representado por perdidas de producción, costos de reparación, impacto ambiental, impacto en seguridad entre otros.



- **Frecuencia de fallas.**

Número de eventos de falla ocurridos, dividido entre el tiempo calendario en el cual se producen tales eventos o entre el número total de demandas, según sea aplicable.

A continuación se presenta de forma detallada la expresión utilizada para jerarquizar la criticidad operacional de la instrumentación (ver ecuaciones 2.2 a la 2.6):

<ul style="list-style-type: none">▪ Criticidad Total = Frecuencia de Fallas x Consecuencia de Fallas. (2.2)▪ Frecuencia = Cantidad de Fallas dentro de un tiempo determinado. (2.3)▪ Consecuencia = (Impacto Operacional x Flexibilidad) + Impacto en Mantenimiento + Impacto en SHA. (2.4)
--

Utilizando la fórmula:

- **Consecuencia** = (NS x FO) + IPR + ISHA (2.5)
- **Frecuencia** = NO
- **Criticidad** = [(NS x FO) + IPR + ISHA] x NO (2.6)

Donde:

- **NS** = Impacto operacional o nivel de severidad
- **FO** = Flexibilidad operacional
- **IPR** = Impacto en reparación
- **ISHA** = Impacto en SHA
- **NO** = Nivel de ocurrencia de falla.



Los parámetros que se fundamenta en esta metodología, para la elaboración del instrumento evaluador en el cálculo de los valores de criticidad son los siguientes:

- **Frecuencia de fallas (NO):** Representa las veces que falla cualquier componente del sistema que produzca la pérdida de su función, es decir, que implique una parada y se toma como base un periodo de un año.
 - **Costo de reparación (IPR):** Se refiere al costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte.
 - **Impacto en la producción (FO):** Representa la producción aproximada 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.
 - **Impacto en la seguridad personal (NS):** 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.
 - **Impacto ambiental (ISHA):** 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.
- **Descriptor de criticidad.**

Cada término de las ecuaciones anteriores se ha fijado siguiendo la experiencia obtenida en PDVSA-INTEVEP, para determinar la criticidad operacional de equipos en planta. Igualmente se ha utilizado la experiencia obtenida a escala corporativa de los grupos de confiabilidad. El resumen de esas experiencias se presentan en las tablas 2.1 a la 2.5.



Tabla 2.1. Nivel de severidad (NS)

Nivel de Severidad (NS)	Descripción	Definición del Nivel de severidad de la Falla.
10	Catastrófico	Parada inmediata de toda la instalación
7	Muy Alto	Fallas que provocan daños a los equipos y estructuras afectando las operaciones (parada total de complejo o planta con repercusión en otras plantas)
4	Alto	Fallas que hacen inoperables los equipos y provocan la pérdida de función para la que fueron diseñados, afectando las operaciones- pérdida de producción o calidad de la planta
2	Moderado	Fallas que provocan pérdida parcial de la función (afectan parcialmente las operaciones), costo operacionales adicionales mientras dura la disponibilidad
1	Bajo	Fallas que no generan ningún efecto significativo sobre operaciones y/o producción

Fuente Informe técnico PDVSA-INTEVEP (2000).

Tabla 2.2. Nivel de flexibilidad operacional (FO)

FO	Definición
4	No existe opción de producción y no hay función de repuesto
2	Existe opción de producción y no hay función de repuesto
1	Función de repuesto disponible

Fuente Informe técnico PDVSA-INTEVEP (2000).

Tabla 2.3. Impacto en reparación (IPR)

Impacto en Reparación	Definición
2	Costos igual o mayor a 20.000 \$
0	Costos Inferiores a 20.000 \$

Fuente Informe técnico PDVSA-INTEVEP (2000).



Tabla 2.4. Impacto en seguridad, higiene y ambiente (ISHA).

Puntaje	Definición
8	Fallas que pueden causar pérdidas humanas y/o afectar el ambiente
7	Afecta el ambiente/instalaciones
5	Afecta las instalaciones causando daños severos
4	Provoca daños menores (ambiente – seguridad)
0	Sin riesgos en SHA

Fuente Informe técnico PDVSA-INTEVEP (2000).

Tabla 2.5. Nivel de ocurrencia de fallas (NO)

Nivel de Ocurrencia (NO)	Descripción (frecuencia de ocurrencia)	Probabilidad de Ocurrencia de la Falla
4	Muy Alta	Más de 2 ocurrencias por año
3	Alta	Entre 1 y 2 Ocurrencias por año
2	Promedio	Entre 0,5 y 1 Ocurrencia por año
1	Baja	Menos de 0,5 Ocurrencia por año

Fuente Informe técnico PDVSA-INTEVEP (2000).

Estos factores deben ser evaluados en una reunión de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional de los sistemas que serán analizados. Una vez que se evalúen en consenso cada una de los factores presentados en las tablas anteriores, éstos serán utilizados para todas las evaluaciones del sistema dentro de la instalación a fin de tener una base o criterio único de evaluación sobre la cual se van a jerarquizar los sistemas.



- **Matriz de criticidad.**

Luego de cumplir con los pasos requeridos para llenar la plantilla de criticidad, donde se han listado todos los sub-componentes asociados a cada equipo mayor de procesos y agrupado por componente funcional, se procede a determinar numéricamente la criticidad del elemento analizado de acuerdo a la ecuación 2.6, tenemos:

$$\text{Criticidad} = [(NS \times FO) + IPR + ISHA] \times NO \quad (2.6)$$

Para obtener el nivel de criticidad, se utilizó la matriz de escala representada en la figura 2.6, donde, el valor de criticidad, se ubica en la matriz a partir del valor de frecuencia en el eje “Y” y el valor de consecuencias en el eje “X”, permitiendo jerarquizar los instrumentos en tres categorías:

- **Categoría de instrumentos de baja criticidad (BC)**
- **Categoría de instrumentos de media criticidad (MC)**
- **Categoría de instrumentos críticos (C)**

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	BC	BC	MC	C	C
	1	BC	BC	MC	MC	C
		0 -10	10 -20	20 -30	30 -40	40 -50
		CONSECUENCIA				

Figura 2.6 Matriz general de criticidad. Fuente PDVSA-INTEVEP.



- Los instrumentos de **baja criticidad (BC)**, son aquéllos de bajo impacto, cuya frecuencia de intervención es a requerimiento, es decir, sólo se les aplica mantenimiento correctivo.
- Los instrumentos de **media criticidad (MC)**, son aquéllos de mediano impacto, con tareas de mantenimiento preventivo programado, cuya frecuencia de intervención es definida en períodos mayores a los instrumentos críticos.
- Los instrumentos **críticos (C)**, son aquéllos de alto impacto, con tareas de mantenimiento preventivo programado, cuya frecuencia de intervención es definida como de alta prioridad.

2.2.4.2 Análisis de los modos y efectos de falla (AMEF).

El análisis de los modos y efectos de fallas (AMFE), constituye la herramienta principal del MCC, para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización determinada. El AMEF, es un método sistemático y cualitativo que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y pueden afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado, el soporte de esta metodología la podemos apreciar a través de las normas (IEC-812, ISO14224 y SAE-JA-1011) .

El objetivo básico del AMEF, es encontrar todas las formas o modos en los cuales puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias o efectos de las fallas en función de tres criterios básicos para el MCC: seguridad humana, ambiente y operacional. Para poder cumplir con este objetivo, los grupos de trabajo MCC, deben realizar el AMEF, siguiendo las secuencias mostradas en la figura 2.7.

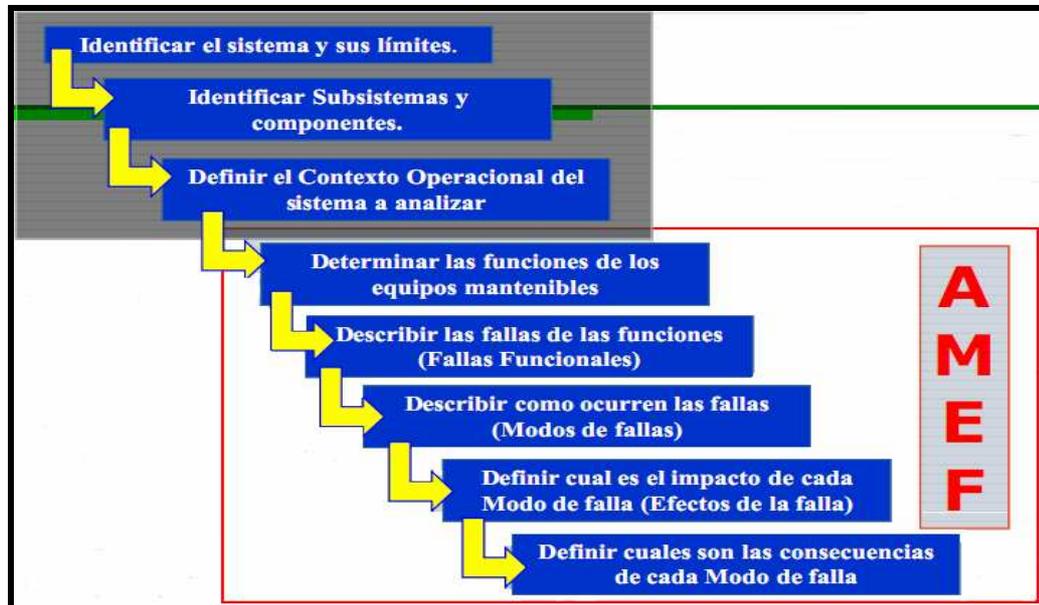


Figura 2.7 Flujograma de implantación del AMEF. Fuente propia.

- Identificar el sistema y sus límites.

Cuando se desea estudiar el mantenimiento de un sistema, sea complejo o no, es necesario entender como es su composición y dividirlo, en caso de ser necesario, en niveles más simples, permitiendo identificar el área de interés (ver figura 2.8).

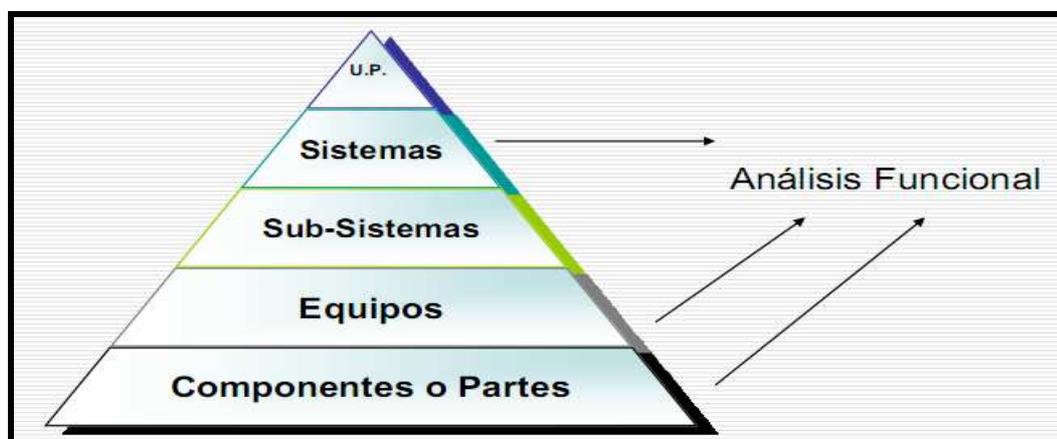


Figura 2.8 Identificación y jerarquización de un sistema. Fuente propia.



- **El contexto operacional:**

Define en forma precisa todos los elementos que serán considerados en el análisis, desde la definición de las fronteras hasta los distintos activos y/o elementos que forman parte del sistema a evaluar, así como también, el régimen de operaciones al cual estará sujeto el activo. Algunos factores que conforman el contexto operacional son: perfil de operación, ambiente de operación, calidad y disponibilidad de los insumos requeridos: combustible, aire, alarmas, monitoreos de primera línea, políticas de repuestos, recursos y logística.

- **Función del activo.**

El MCC define el término función, como el propósito o la misión de un activo en un contexto operacional específico (cada activo puede tener más de una función en el contexto operacional). Las funciones evidentes de un activo pueden dividirse en:

- a) **Funciones primarias:** Cada activo es puesto en servicio para cumplir eficientemente una o varias funciones específicas, las cuales se conoce como funciones primarias, constituyen la razón de ser del activo y usualmente esta definida por el propio nombre del activo.
- b) **Funciones secundarias:** Son aquellas que el activo está en capacidad de cumplir en adición a las salidas principales descritas por las funciones primarias, tales como aquellas que comprometen temas como protección, control, contención, confort, apariencia, eficiencia energética e integridad estructural. Son funciones menos obvias pero las consecuencias que podrían generar sus fallas pueden ser más serias que las originadas de una función primaria.



c) **Estándares de desempeño:** Es el valor (rango), que permite especificar, cuantificar, y evaluar de forma clara las funciones de un activo. Cada activo puede tener más de un estándar de ejecución en su contexto operacional.

- **Fallas funcionales.**

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada sistema o equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva el concepto de una falla funcional, que es una ocurrencia no predecible, que no permite al activo alcanzar el estándar de ejecución esperado y trae como consecuencia que el activo no pueda cumplir su función o la cumpla de forma ineficiente.

- **Modos de fallas.**

El paso siguiente es tratar de identificar los modos de falla que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función. Es la causa de cada falla funcional, es el que provoca la pérdida de la función total o parcial de un activo en su contexto operacional. Las fallas funcionales tienen causas físicas y se denominan modos de fallas. Las actividades de prevención, anticipación o corrección de fallas funcionales según el MCC, deben estar orientadas a atacar modos de fallas específicos. Ejemplo de modos de fallas: Corrosión, lubricación inadecuada, ensamble incorrecto, operación incorrecta, materiales incorrectos, acoples sueltos, rodamientos desgastados, pérdida de aislamiento entre otros.

- **Efecto de la falla.**

Cuando se identifica cada modo de falla los efectos de las fallas, también deben registrarse (en otras palabras, que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada



falla y por lo tanto que nivel de mantenimiento sería necesario. El registro de los efectos de falla debe incluir de ser posible la siguiente información:

- a) Posibles señales de la ocurrencia de falla y la forma de evolución de la misma.
- b) Se debe registrar si la ocurrencia del modo de falla puede herir o matar una persona o se viola algún reglamento ambiental tanto interno como externo.
- c) Si la ocurrencia del modo de falla puede afecta la producción, sus costos, su calidad o el servicio al cliente.
- d) Se debe especificara la ocurrencia de daños materiales y sus posibles costos de reparación, permitiendo evaluar el impacto de la falla.
- e) Se debe especificar lo que hay que hacer para recuperar la función perdida por la falla.

- **Consecuencias de las fallas.**

Una vez que se hayan determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de los mismos en cada elemento significativo el próximo paso es preguntar cómo y cuanto importa cada falla. La razón es por que las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlas (impacto que produce cada modo de falla en el negocio).Las consecuencias de las fallas se pueden clasificar en cuatro grupos.

- a) **Consecuencias de las fallas ocultas o no evidentes:** Se llama así a las fallas no detectables por los operarios bajo circunstancias normales, haría falta un procedimiento para ser detectadas, no tienen impacto directo pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias. Pueden ser el motivo de 50% de modos de fallas en equipos modernos.
- b) **Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente:** Si afecta físicamente a alguien o infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente.



- c) **Consecuencias operacionales:** Si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, costos de reparación). Esta consecuencia cuesta dinero y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita para prevenirlas.
- d) **Consecuencias no operacionales:** Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afecta ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es la de reparación.

- **Plantilla AMEF.**

En la figura 2.9, se muestra un esquema general de la plantilla AMEF, como se encuentran distribuidas las distintas etapas que la conforman, así como un esquema para clasificar las consecuencias de cada modo de falla y en la figura 2.10, un ejemplo práctico de una plantilla AMEF de un motor eléctrico que desempeña su función en un sistema de bombeo.

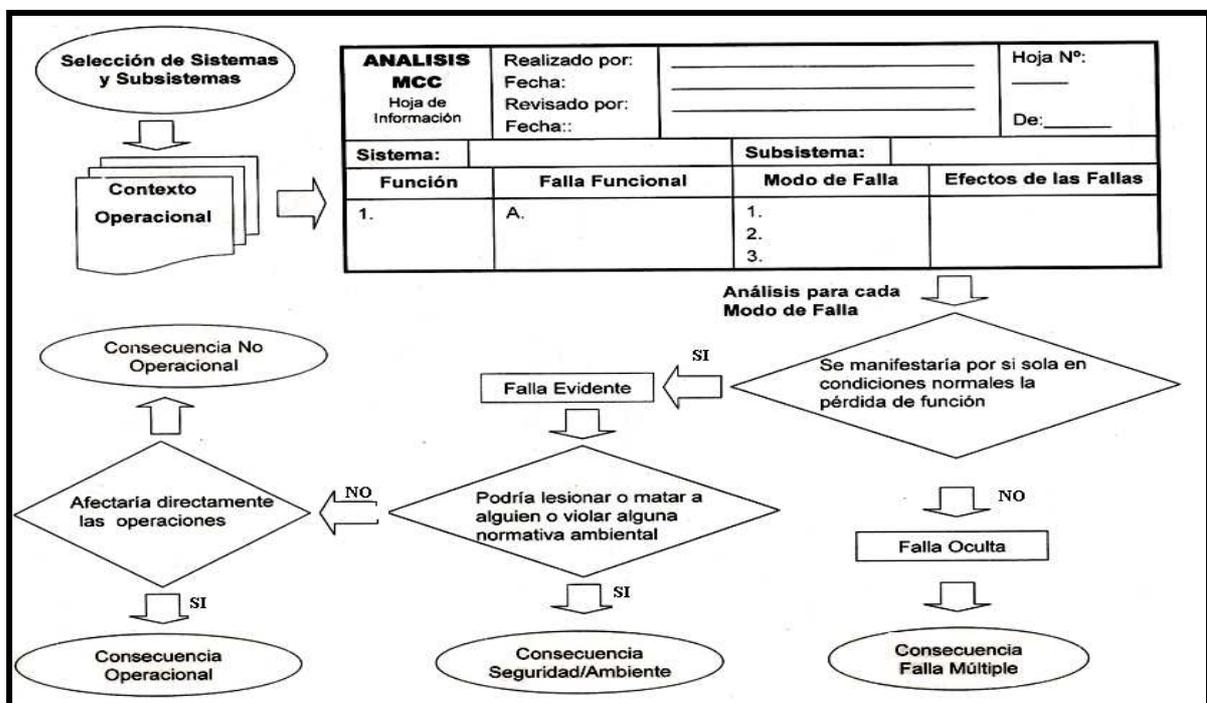


Figura 2.9 Plantilla AMEF y el esquema general de las consecuencias. Fuente propia



HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN MCC	Sistema: Bombeo	Realizado por: Participantes	Fecha: 28/3/07	Hoja: 1
	Equipo: Motor Eléctrico	Revisado por:	Fecha:	De:
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efectos de las Fallas	
1. Hacer girar la bomba a una velocidad de 3500 RPM con una potencia de 1500 HP	<p>A. Incapaz de hacer girar la bomba</p> <p>B. Incapaz de hacer girar la bomba a 3500 RPM y 1500HP</p>	<p>1. Falta de energía eléctrica</p> <p>2. Polaridad invertida</p> <p>3. Se invierte la polaridad por estar abierto o en corto el devanado de una de las fases</p> <p>4. El arrancador no funciona</p> <p>1. Voltaje superior o inferior a 4400±5% de 4400 VAC</p> <p>2. Alimentación no esta a 60 Hz</p> <p>3. Torque mayor al diseño</p> <p>4. Desbalance de corriente en los devanados</p>	IA1. Se para el motor impidiendo el funcionamiento de la bomba, lo cual ocasiona una disminución de presión y una disminución de la succión de los cañones a una rata de 2500 barriles por hora. Tiempo promedio para reponer el servicio de 20 min. A 3 horas.	

Figura 2.10 Plantilla AMEF de motor eléctrico. Fuente ASSET TOTAL CA. 2007.

2.2.4.3 Fundamentos básicos de la confiabilidad:

La técnica de la ingeniería de la confiabilidad se puede emplear para la toma de decisiones racionales de la gerencia, tales como, si reparar un activo en el momento que falla o si reparar hasta el próximo mantenimiento programado, cuantos repuestos tener a la mano, cuánto personal disponible. Las aplicaciones de la ingeniería de la confiabilidad son múltiples, y un gerente o ingeniero con cierto entrenamiento, podría identificar las oportunidades para el empleo fructífero de esta herramienta, a fin de lograr los objetivos planteados a un costo mínimo y una seguridad y productividad máxima. A continuación se presentan los conceptos y parámetros básicos de ésta área.

- **Tasa de fallas $\lambda(t)$.**

Tradicionalmente, la tasa de fallas representa la medida de probabilidad que un equipo que está operando presente fallas, o deje de operar, cuando se incrementa un intervalo de tiempo.



De este modo $\lambda(t)$, es entonces el número de eventos de fallas que ocurre, dividido por el tiempo de operación en que esos eventos ocurren o por el número total de demandas, según aplique (ver ecuación 2.7). La frecuencia con que presentan los fallos en los componentes, se expresa en (fallos /horas) o en (*fallos* /10⁶ horas).

$$\lambda(t) = \frac{N^{\circ} \text{ defallas}}{\text{Tiempo}} \quad (2.7)$$

- **Curva general de la bañera.**

Dado que la “tasa de fallos” varía respecto al tiempo, su representación típica tiene forma de bañera, en la figura 2.11, se puede apreciar la representación de la curva típica de la evolución en el tiempo de la tasa de fallos. La vida de los dispositivos tiene un comportamiento que viene reflejado en la curva de la bañera por tres etapas diferenciadas:

- **La primera etapa de fallos iniciales o infantiles**, corresponde generalmente a la existencia de dispositivos defectuosos o instalados indebidamente con una tasa de fallos superior a la normal. Esta tasa de fallos elevada va disminuyendo con el tiempo hasta alcanzar un valor casi constante.
- **La segunda etapa de fallos normales**, también llamada de fallos aleatorios, es debida principalmente a operaciones con solicitaciones superiores a las proyectadas y se presentan de forma aleatoria e inesperada. El comportamiento de la tasa es constante durante esta etapa y los fallos son debidos a las propias condiciones normales de trabajo de los dispositivos o a solicitaciones ocasionales superiores a las normales. [8]
- **La tercera etapa de fallos de desgaste**, es debida a la superación de la vida prevista del componente cuando empiezan a aparecer fallos de degradación como consecuencia del desgaste. Se caracteriza por un aumento rápido de la tasa de fallos.

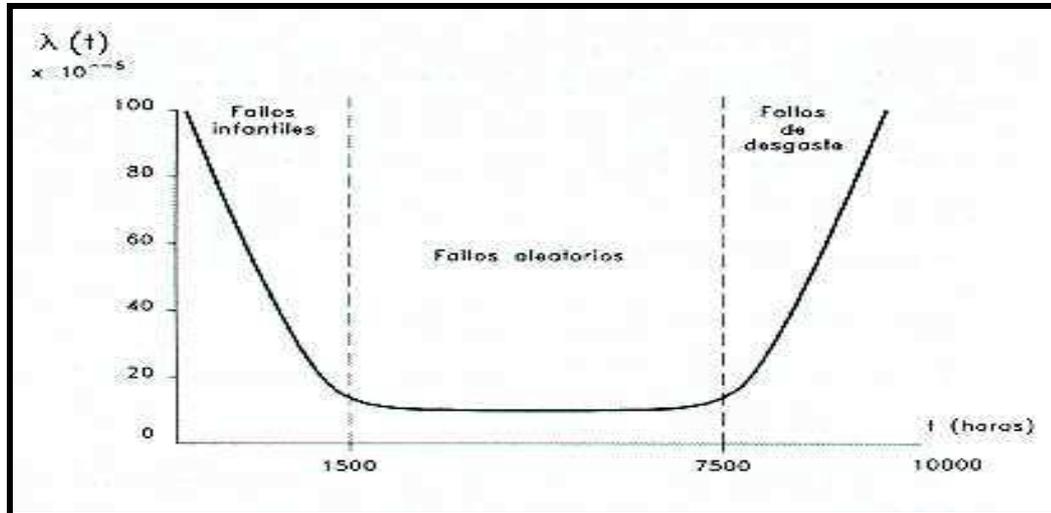


Figura 2.11 Representación gráfica de la curva de la bañera.

Fuente: Créus A. (2005). Fiabilidad y seguridad de procesos industriales.

En la figura 2.12, se presenta algunos modelos o patrones de fallas que definen el comportamiento de la vida útil de un equipo o componente general el modelo de las fallas depende de la complejidad de los elementos, cuanto más complejos sean tendrán un comportamiento como los de los modelos E y F.

- **Tiempo medio para la falla (MTTF).**

El tiempo medio para la falla (MTTF), es la duración de tiempo estimado entre el instante en que el componente se pone en servicio, y el instante en que ocurre su próxima falla. [7]. La calidad de funcionamiento de un cierto elemento vendrá dada, generalmente, por el tiempo que se espera que dicho elemento funcione de manera satisfactoria, su representación matemática viene expresada en la ecuación 2.8.

$$MTTF = \frac{\sum_0^n TTF_i}{n} \quad \text{ó} \quad MTTF = \frac{1}{\lambda}; \text{ si } \lambda(t) = \text{constante} \quad (2.8)$$



- **Tiempo medio para reparar (MTTR).**

El tiempo de reparación (TTR), es el intervalo de tiempo desde el instante que se produce la falla hasta que se restaura para el servicio después de efectuada la reparación. El valor estimado del tiempo de reparación, se llama tiempo medio para la reparación (MTTR), su representación matemática se observa en la ecuación 2.9.

$$MTTR = \frac{\sum_0^n TTR_i}{n} \quad (2.9)$$

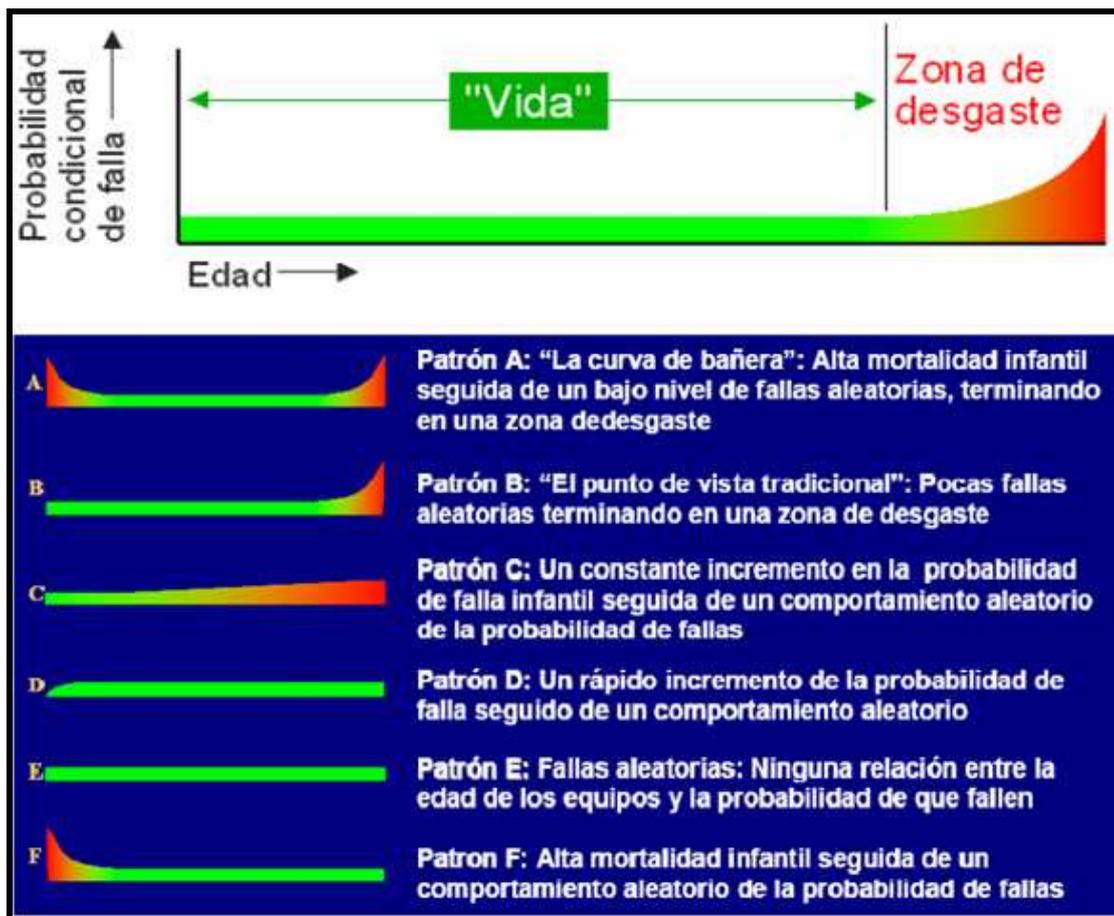


Figura 2.12 Patrones de fallas que rigen en los equipos. Fuente ASSET TOTAL 2008.



- **Función acumulativa de fallas $F(t)$.**

Es “la probabilidad de falla” ó la no confiabilidad, es el complemento de la confiabilidad y se define como la probabilidad de que el componente o equipo falle entre los tiempos 0 y t, dado que era nuevo o tan bueno como el nuevo en el tiempo cero (ver ecuación 2.12), también se denomina mortalidad (porcentaje de componentes que han fallado).

$$F(t) = 1 - R(t) \Leftrightarrow F(t) = 1 - e^{-\lambda * T} \quad (2.12)$$

La siguiente grafica representada en la figura 2.14, muestra la relación complementaria entre la confiabilidad $R(t)$ y la probabilidad de falla $F(t)$ de un componente o equipo.

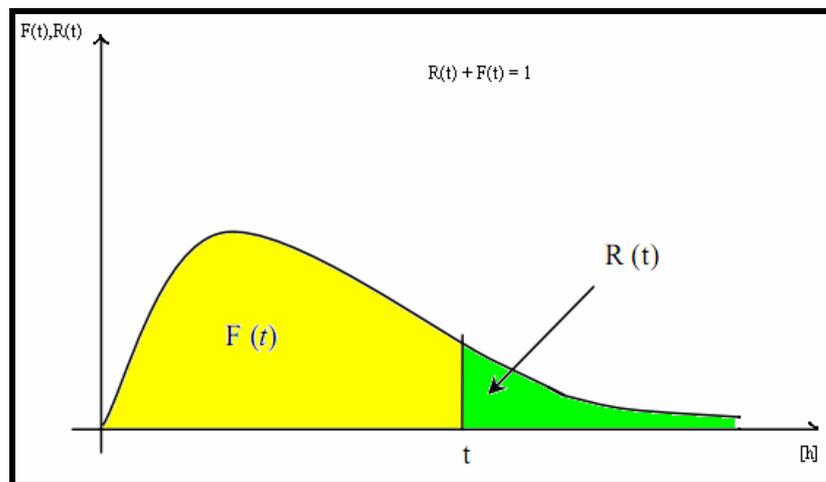


Figura 2.14. Relación entre la confiabilidad y la probabilidad de falla. Fuente propia

- **Mantenibilidad $M(t)$.**

La mantenibilidad es la probabilidad de que un componente o equipo pueda ser restaurado a una condición operacional satisfactoria dentro de un período de tiempo dado, cuando su mantenimiento es realizado de acuerdo a procedimientos preestablecidos.



Es una función de eficiencia que mide la capacidad de un activo de cambiar de un estado inoperante a un estado de operación satisfactoria (norma MIL-STD-721B). La expresión matemática para una distribución probabilística exponencial, que representa este concepto la apreciamos en la ecuación 2.13.

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}} \quad (2.13)$$

En la grafica 2.15, se muestra la curva de mantenibilidad indicando los tiempos de recuperación que se completara el 10 y 90 por ciento de las actividades de mantenimiento de un activo y el tiempo medio de reparación o el tiempo esperado de recuperación (MTTR).

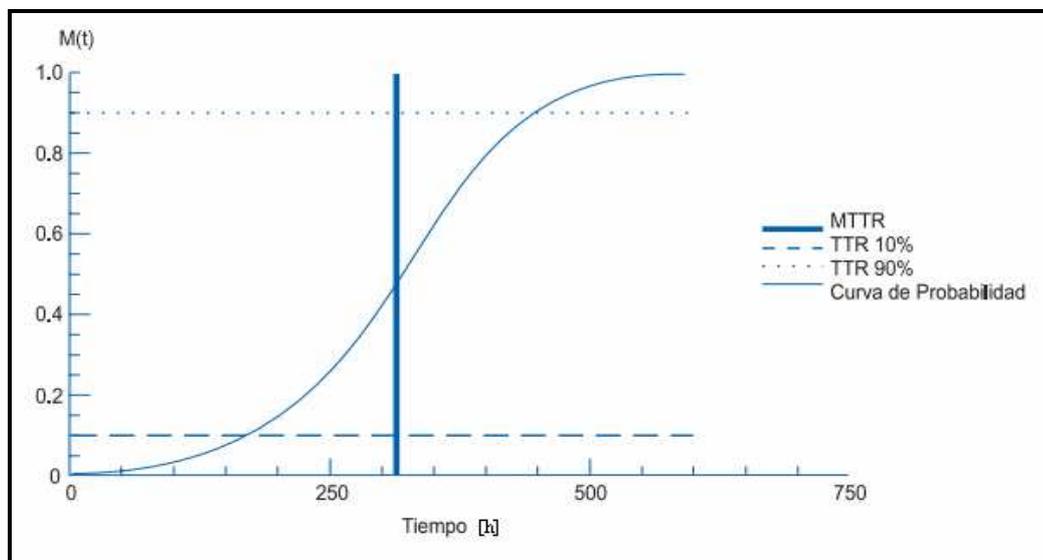


Figura 2.15 Función mantenibilidad. Fuente Jezdimir Knezevic (2000)

La buena mantenibilidad es una función de varios factores los cuales se pueden agrupar en operacionales y de diseño. Los factores operacionales generalmente se relacionan con el factor humano encargado del equipo y de mantenerlo, el tipo de entrenamiento y aptitud del personal,



así como también lo asociado con el medio ambiente, técnicas usadas para corregir las fallas y el soporte logístico. Las consideraciones que durante la fase de diseño se hagan sobre la distribución física y accesibilidad del equipo, modulación e intercambiabilidad, remplazabilidad, normalización y niveles iniciales de repuesto, tienen una influencia significativa, no solo sobre el nivel mismo de la mantenibilidad del sistema, sino también sobre el potencial de mejoramiento de de dicha mantenibilidad.

- **Disponibilidad $D(t)$.**

La disponibilidad, se define como la probabilidad de que un equipo este operando, durante un período de tiempo determinado, es decir es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue diseñado. La expresión matemática que describe la disponibilidad instantánea $D(t)$, la apreciamos en la ecuación 2.14a. Si consideramos un tiempo de operación muy largo, se tiene la llamada disponibilidad en régimen permanente $D(\infty)$, se asume que la distribución de fallos (λ), y de reparación (μ), son de tipo exponencial (ver ecuación 2.14b).

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) e^{-(\lambda + \mu) * t} \quad (2.14a); \quad D(\infty) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (2.14b)$$

Donde: $\lambda = \frac{1}{MTBF}$ (tasa de fallos), y $\mu = \frac{1}{MTTR}$ (tasa de reparación).

A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el tiempo promedio para la falla (MTBF) y el tiempo promedio para la reparación (MTTR), es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad de algún activo a través de :



- a) Aumento de los tiempos entre fallas MTBF↑.
- b) Reducción de los tiempos de reparación MTTR↓.
- c) Tácticas combinatorias.

A continuación se muestra en la figura 2.16, la curva característica de la disponibilidad.

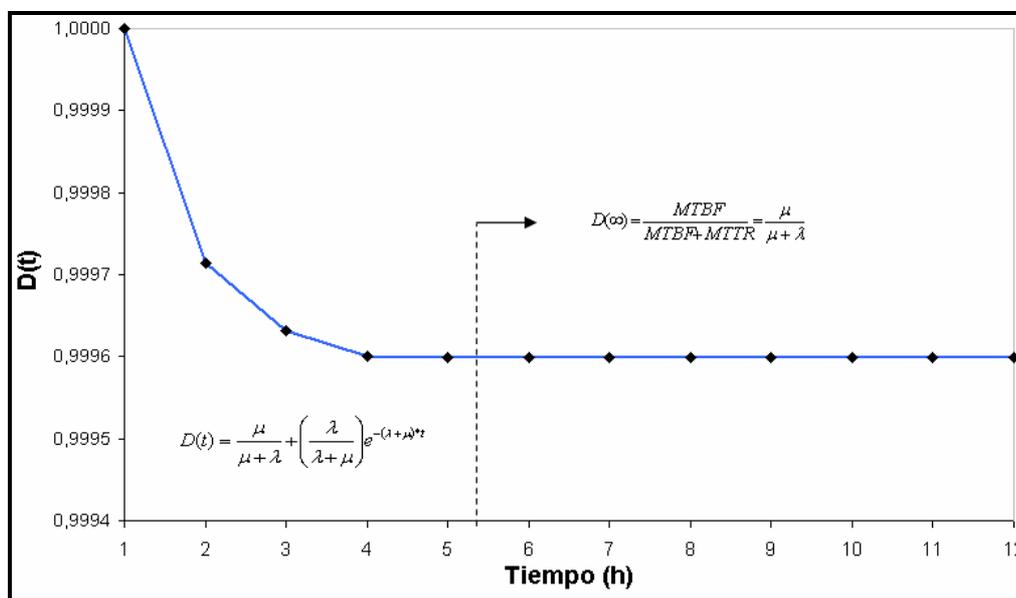


Figura 2.16. Representación gráfica de la disponibilidad. Fuente propia

Como podemos apreciar, la disponibilidad está influenciada por la confiabilidad y la mantenibilidad, es decir, al mejorar uno de los dos se está mejorando la disponibilidad.

- **Distribuciones probabilísticas.**

Para aplicar el modelo estadístico de la confiabilidad, es necesario utilizar algún tipo de distribución. En los análisis de confiabilidad se estudian varios tipos de distribuciones estadísticas, cuya adopción depende del grado de ajuste de los datos a la función considerada y del tipo de fenómeno que se analiza.



- **Distribución exponencial.**

La distribución se caracteriza por que la tasa de fallo (λ), es constante, asunción correcta si se considera que el dispositivo no tiene fallos infantiles y que no han aparecido todavía desgaste. Representa la fase normal de operación del componente. Es la distribución mas ampliamente utilizada en los estudios de confiabilidad. Las expresiones matemáticas que rigen esta distribución la apreciamos en las ecuaciones 2.15 a la 2.17.

$$* h(t) = \lambda \Rightarrow \text{cte} \quad ; \text{ Rata de falla.} \quad (2.15)$$

$$* R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad ; \text{ Confiabilidad.} \quad (2.16)$$

$$* F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad ; \text{ Probabilidad Falla acumulada.} \quad (2.17)$$

En la figura 2.17, está representada la confiabilidad en función de una distribución probabilística exponencial. Se aprecia cuando el tiempo (t), es igual al tiempo medio entre fallos (MTTF), la confiabilidad $R(t)$, es del 36,8%.

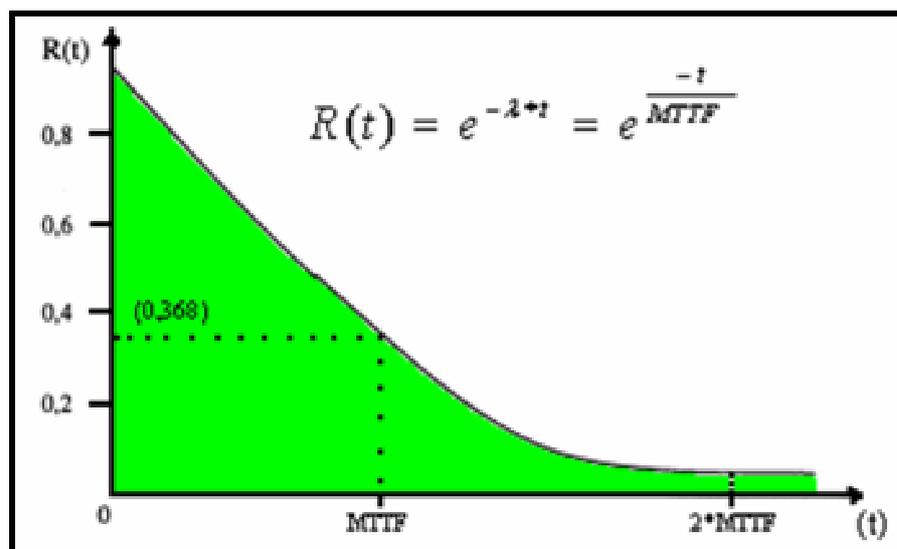


Figura 2.17 Curva de confiabilidad y distribución exponencial. Fuente Propia.



▪ **Distribución Weibull.**

La distribución de Weibull es muy útil para estudios del tiempo de vida o tiempo para la falla de componentes mecánicos. El número de ocurrencia de eventos por unidad de tiempo no permanece necesariamente constante, la tasa de ocurrencia de eventos puede crecer o decrecer con el tiempo. Es un modelo de distribución bastante flexible el cual es descrito por dos parámetros, la expresión matemática la observamos en la ecuación 2.18.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (2.18)$$

Siendo:

t_0 : parámetro inicial de localización

η : parámetro de escala o vida característica

β : parámetro de forma

Las ecuaciones 2.18, sólo se aplican para valores de $(t - t_0) \geq 0$. Para valores de $(t - t_0) < 0$, las funciones de densidad y la tasa de fallos valen 0. Las constantes que aparecen en las expresiones anteriores tienen una interpretación física:

- ❖ t_0 , es el parámetro de posición (unidad de tiempos) ó vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.
- ❖ η , es el parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo, del eje de los tiempos. Cuando $(t - t_0) = \eta$ la fiabilidad viene dada por: $R(t) = 0,368$ (36,8%).
- ❖ β , es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta describiendo el grado de variación de la tasa de fallos.



En la figura 2.18, se aprecia la curva de confiabilidad bajo la distribución de WEIBULL.

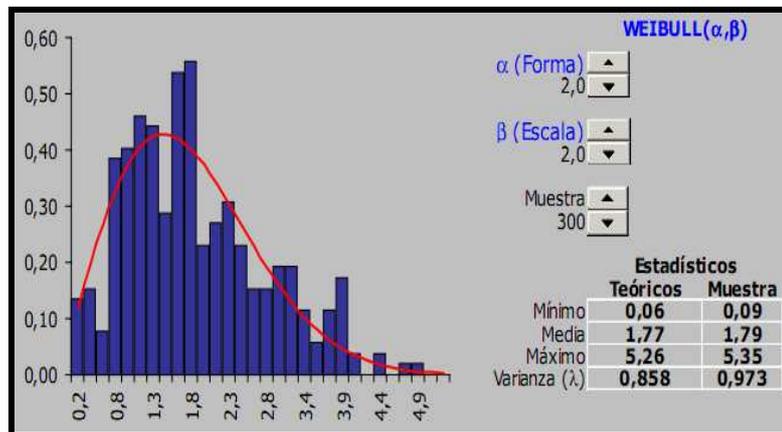


Figura 2.18, Curva de confiabilidad, distribución de WEIBULL. Fuente propia.

2.2.4.4 Modelo optimización costo riesgo (OCR).

Modelo que permite seleccionar de forma óptima frecuencias de mantenimiento e inspección y determinar el nivel óptimo de riesgo y la cantidad adecuada de mantenimiento, para obtener el máximo beneficio o mínimo impacto en el negocio.

Ahora bien, la condición ideal para muchas empresas y profesionales, sería disponer de datos estadísticos de los sistemas a evaluar, que sean bien representativos y hasta precisos según sea el caso, lo cual permitiría cálculos “exactos y absolutos” para muchos de ellos. Sin embargo desde el punto de vista práctico, se tiene que no todos los factores cumplen con esta condición esperada, o sea son variables, aunado a que pocas veces se dispone de data histórica de excelente calidad, o simplemente de registros confiables, se hace necesario el uso de metodologías como OCR que permite trabajar en rangos dados por escenarios, es decir, establece cual sería la condición más favorable, así como la condición menos favorable conjugando cada uno de los criterios a evaluar y no por separado. En la figura 2.19, se muestra



gráficamente el modelo mencionado, y en el mismo pueden destacarse tres curvas que varían con el tiempo:

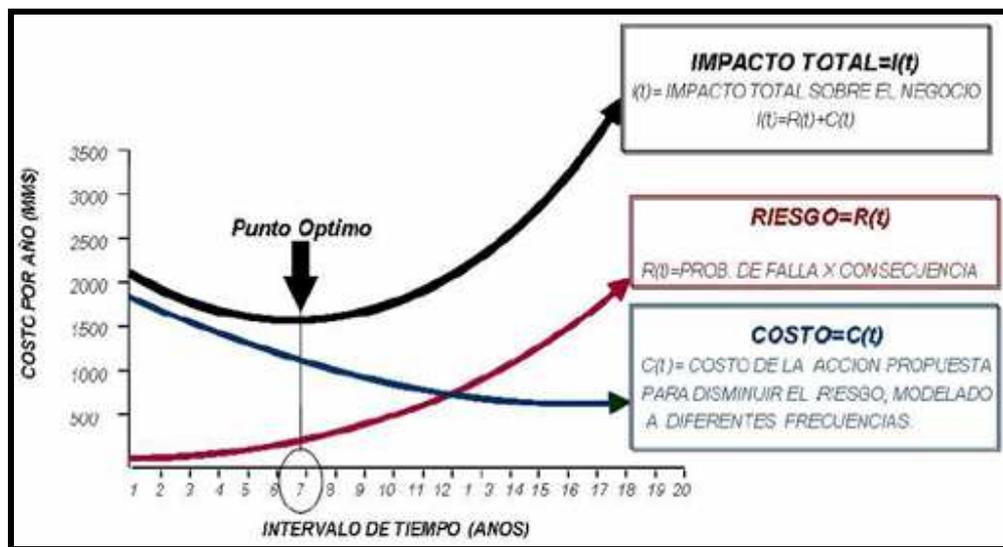


Figura 2.19 Modelo de decisión costo riesgo Fuente R2M.

- **La curva del nivel de riesgo**

El cálculo del riesgo, involucra la estimación de la probabilidad de fallas y/o la confiabilidad, (confiabilidad = 1 – probabilidad de fallas), y de las consecuencias. La figura 2.20, muestra la descomposición del indicador “riesgo” en sus componentes fundamentales. En ella se muestra claramente, que para calcular riesgo, deben establecerse dos vías, una para el cálculo de la confiabilidad y/o la probabilidad de fallas, en base a la historia de fallas o en base a la condición; y otra para el cálculo de las consecuencias.

- **Estimación de consecuencias.** El modelo divide las consecuencias asociadas con una falla particular en cuatro grandes categorías: Pérdidas de producción, costos de reparación, impacto ambiental e impacto en seguridad.



- a. **Pérdida de producción:** En este paso, las pérdidas de producción debido a tiempo fuera de servicio son estimadas usando la siguiente ecuación: $PP * RF * TTR$. Donde PP es el precio del producto (\$/Unid), RF es la reducción de flujo (Unid/H) y TTR, el tiempo para reparar (horas).
- b. **Costos de reparación:** La distribución de los costos de reparación debe incluir el espectro de todos los posibles costos, los cuales varían dependiendo de la severidad de la falla.
- c. **Impacto ambiental e impacto en seguridad:** Las distribuciones de estos impactos, en la mayoría de los casos, son difíciles de construir, pues no es fácil encontrar datos y fundamentalmente requieren ser construidas en base a la opinión de expertos.



Figura 2.20. Flujograma del indicador "riesgo". Fuente ABS CONSULTING.

- **La curva de los costos de mantenimiento.**

En la cual se simulan los costos de diferentes frecuencias para la acción de mantenimiento propuesta. Básicamente, los costos de las actividades de mantenimiento o costos directos de la



misma están conformados por los costos los siguientes aspectos o factores que en función de la actividad se requiera:

- a) **Mano de obra:** Representa la fuerza laboral propia o contratada.
- b) **Materiales:** Incluye las partes, equipos lubricantes, herramientas, repuestos.
- c) **Transporte:** Camiones, lanchas gabarras, barcos, avión, elevadores, grúas.
- d) **Gastos generales:** Servicios, edificaciones, talleres, logística.

- **La curva de impacto total.**

Resultado de la suma punto a punto de la curva de riesgos y la curva de los costos de mantenimiento. El “mínimo” de esta curva, representa la frecuencia para la cual la suma de los costos de la política de mantenimiento con el nivel de riesgo asociado a esta política es mínima. Un desplazamiento hacia la derecha de este punto implicaría “asumir mucho riesgo” y un desplazamiento hacia la izquierda del mismo implicaría “gastar demasiado dinero”.

2.2.4.5 Sistema integral de gestión de mantenimiento (SIGMA).

El Sistema Integrado para la Gestión de Mantenimiento SIGMA, es una herramienta de software desarrollada para apoyar la gestión de la gerencia de instrumentación y control de La RELP (ver figura 2.21), con el objetivo de automatizar y optimizar el manejo de la información asociada a las actividades de mantenimiento llevadas a cabo en cada una de sus superintendencias. La aplicación SIGMA, fue concebida con la finalidad de ofrecer un conjunto de soluciones de software agrupadas en un sistema de información que logrará automatizar y optimizar los procesos asociados a las actividades de mantenimiento llevadas a cabo por cada una de las organizaciones de la Gerencia de Instrumentación y Control de la Refinería El Palito (RELP). SIGMA es una herramienta de trabajo de uso diario del personal involucrado en el



mantenimiento preventivo y correctivo de los instrumentos que monitorean los equipos que mantienen operativas las plantas de La RELP. [15]

- **Descripción del sistema (SIGMA).**

- Herramienta tecnológica utilizada para la gestión de las actividades de mantenimiento en sus diferentes tipos y estatus.
- Diseñado para el control de las actividades de mantenimiento realizadas en las diferentes organizaciones pertenecientes a la Gerencia de Instrumentación y Control.
- Permite la generación de reportes sobre la gestión de mantenimiento diaria y mensual, de una manera más eficiente
- Permite el seguimiento de los planes de mantenimiento sobre los instrumentos críticos que se realizan mensualmente en cada una de las organizaciones pertenecientes a la Gerencia de Instrumentación y Control.



Figura 2.21. Pantalla principal para ingresar al programa SIGMA.

Fuente: Manual de procesos de programación del SIGMA. (2005).



- **Alcance del sistema SIGMA.**

Las actividades desempeñadas por la Gerencia de Instrumentación y Control de La RELP que SIGMA, implementa son el registro de las actividades de mantenimiento ejecutadas en una jornada diaria, administración de las actividades de mantenimiento pendientes o en backlog, seguimiento al plan de mantenimiento preventivo asociado a cada equipo tipificado como crítico, administración de la disponibilidad del recurso humano efectivo, administración de la planificación anual del mantenimiento preventivo basado en tiempo y generación de reportes e indicadores diarios o mensuales para el control de la gestión. [15].



**MARCO
METODOLÓGICO**

**C
A
P
Í
T
U
L
O

I
I
I**



CAPÍTULO III.

3.1 Fases metodológicas.

Para la presente investigación se describen las fases de estudio, con el fin de alcanzar todos los objetivos propuestos.

- **PRIMERA FASE:** Fase de diagnóstico; considerando la naturaleza de esta fase, se siguieron los pasos de la investigación científica, utilizando la observación, recopilación de documentos y entrevistas, con el fin de realizar un diagnóstico y evaluar la gestión actual de mantenimiento dirigido a los sistemas de control e instrumentación de La Unidad de FCC.

Instrumentos a utilizar: Manual para la evaluación de los sistemas de mantenimiento en la industria (COVENIN 2500-93). Esta norma venezolana contempla un método cuantitativo, para la evaluación, en empresas industriales y determinar la capacidad de gestión en lo que respecta al mantenimiento mediante el análisis y calificación de los siguientes factores:

1. Organización de la empresa.
2. Organización de las funciones de mantenimiento.
3. Planificación, programación de las actividades de mantenimiento. [12] [16]

- **SEGUNDA FASE:** Fase de elaboración de hoja de ruta de mantenimiento; considerando la naturaleza de esta fase se siguieron la investigación científica, utilizando la observación, recopilación de documentos, manuales, P&D y entrevistas, así como sugerencias de proveedores y expertos, con el fin de obtener los siguientes ítems:



Instrumentos:

- Procedimiento del plan de mantenimiento.
- Formatos de inventario, codificación de objetos, ficha técnica, procedimiento de ejecución, programación, etc.
- Ruta de mantenimiento.
- Configuración de la plataforma (SIGMA).[15]

- **TERCERA FASE:** Se realizó el estudio integral de los equipos y sistemas, en base al análisis de criticidad, para delimitar y priorizar el área de estudio. La metodología es basada en la teoría de riesgo y el instrumento que se aplicó fue el informe técnico denominado: “Metodología para evaluar confiabilidad en instrumentación” N^a INT-7572-200 PDVSA-INTVEP.

- **CUARTA FASE:** El Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), es un método que permite lograr el aseguramiento de la calidad, mediante el análisis sistemático, contribuye a prevenir los modos de fallo, tanto de un equipo como de un proceso, evaluando su gravedad, concurrencia y detección. El soporte de esta metodología la podemos apreciar a través de las normas IEC-812, donde se procede a identificar el sistema y sus límites y la norma SAE-JA-1011, para la elaboración y diseño de la hoja AMEF.

- **QUINTA FASE:** En esta fase se evaluó los indicadores de gestión (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad), en base a los criterios y definiciones en el área de ingeniería de la confiabilidad, así como la aplicación de modelos probabilísticas y normas o estándares como la MIL-STD-781/721B establecidas en el capítulo II, sección 2.4.



- **SEXTA FASE:** En esta fase se consideró, la implementación de la metodología de optimización costo riesgo OCR, con el propósito de establecer las frecuencias de mantenimiento para cada equipo en estudio, parámetro indispensable para establecer los planes de mantenimiento.

- **SEPTIMA FASE:** Para la culminación de esta fase se utilizó una plataforma automatizada llamada SIGMA, para la optimización de la gestión de mantenimiento con el propósito de llevar registro de las actividades realizadas así como la ayuda en la toma de decisiones.

Instrumentos:

- Manual de programación del SIGMA.
- Norma PDVSA MR-02-02-03 “Niveles de mantenimiento”.
- Formatos para el procedimiento de inspección de los HPM e instrumentos.



RESULTADOS

C A P Í T U L O IV



CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. PRIMERA FASE. Fase de diagnóstico.

La presente fase inicial tiene como finalidad, identificar los aspectos críticos de la gestión de mantenimiento, para realizar un diagnóstico acertado de la problemática existente. En este estudio se utilizaron dos formas de medición tales como la observación directa a los procesos de planificación y el diseño de una encuesta, con el fin de tener diferentes enfoques sobre la situación actual de la gestión de mantenimiento del departamento. Para la realización de las encuestas, se siguieron los siguientes pasos:

- Selección de la técnica adecuada para demostrar la problemática y diagnosticar el estado actual del departamento.
- Solicitar a la Superintendencia de AIT la aprobación para la realización del estudio.
- Elección del procedimiento de muestreo más indicado para la investigación.
- Recolección, procesamiento y evaluación de la información pertinente.
- Presentación de resultados y análisis.

Muestra (Límites de población):

La muestra a analizar estará conformada por empleados, supervisores, ingenieros involucrados en las distintas áreas de instrumentación y automatización. La muestra tomada para la elaboración de la encuesta no siguió un procedimiento probabilístico, es decir la



selección no se realizó al azar, si no por la existencia de una razón o causa determinada. Teniendo una población finita de 50 personas pertenecientes al Departamento de Automatización, se tomó una muestra no probabilística de 20 personas de la nómina mayor comprendida entre supervisores e ingenieros del área.

4.1.2 Selección de instrumento y recolección de datos.

Se han desarrollado diferentes métodos para identificar las fortalezas y debilidades de una organización de mantenimiento, entre estos instrumentos se mencionan los siguientes:

a) Auditoría de gestión de mantenimiento (PS1):

El Instrumento presenta un detallado análisis y calificación de cada una de las funciones características de una organización de mantenimiento agrupado según sus áreas básicas del campo de actividad, tales como:

- Organización, personal, relaciones
- Preparación y planificación del trabajo
- Ingeniería, inspección y mantenimiento preventivo.
- Compras y almacenes de materiales.

b) Norma COVENIN 2500-93 (PS2):

Presenta un método cuantitativo para la evaluación del sistema de mantenimiento en empresas manufactureras mediante el análisis y calificación de los siguientes factores.



- Organización de la empresa
- Organización de las funciones de mantenimiento
- Planificación
- Programación y control de las actividades.

c) Puntos críticos del éxito en mantenimiento PCEM (PS3):

Se busca evaluar el desempeño del mantenimiento dentro de la empresa y efectuar un diagnóstico de su situación que permita a posterior implementar un plan de trabajo. La escala de medición es cualitativa y las categorías que contempla la ficha son:

- Excelencia gerencial
- Cultura de la calidad
- Desarrollo de servicio
- Manejo de información
- Manejo de factor tiempo

d) Evaluación de estrategias del mantenimiento (EEM) (PS4):

Se inicia con un cuestionario preparado como un ejercicio de auto evaluación que se utiliza para identificar áreas fuertes y débiles, las preguntas están relacionadas con:

- Estrategia de mantenimiento
- Tácticas de mantenimiento
- Medidas de desempeño
- Tecnología de información.



e) Benchmarking (PS5):

Proceso de comparar y medir continuamente una organización con líderes de negocio en cualquier parte del mundo. El objetivo del Benchmarking es identificar cuales son los mejores prácticas en la ejecución de una actividad. El término “clase mundial” es utilizado generalmente para demostrar la calidad de una empresa. Algunos de los puntos más resaltantes a evaluar son:

- Organización centrada en equipos de trabajo.
- Contratista y suplidores orientados a la productividad.
- Integración con proveedores y empresas de servicio.
- Planificación y programación proactiva.

Para seleccionar uno de los cinco instrumentos anteriores se aplicará una matriz de decisión donde se presentan las posibles soluciones (PS) versus los criterios (C) que fueron establecidos de acuerdo la siguiente definición:

- C1: Fácil entendimiento
- C2: Contempla las funciones y características de una organización de mantenimiento.
- C3: Agrupados según sus áreas básicas.
- C4: Sea un método cuantitativo.



Los mismos tendrán una escala de ponderación del 1 al 5, esta apreciación determinará que tanto se ajusta cada instrumento (PS) a los criterios, y la solución que obtenga mayor peso será la escogida (ver tabla 4.1).

Tabla 4.1. Ponderación de los criterios frente a las soluciones.

SOLUCIONES	CRITERIOS				TOTAL
	C1	C2	C3	C4	
PS1	4	4	4	4	16
PS2	4	5	5	4	18
PS3	4	4	3	3	14
PS4	4	4	4	4	16
PS5	2	3	3	3	11

Fuente propia.

De acuerdo a la ponderación de criterios y al análisis efectuado, la mejor solución es (PS2) norma COVENIN 2500-93, instrumento que cumple con mayor ponderación de criterios para ser aplicado en el estudio que se desarrollará, por lo tanto el resto de las soluciones serán descartadas.

4.1.3 Aplicación de la norma COVENIN 2500-93.

Este instrumento será aplicado en el Departamento de Automatización, para evaluar el sistema de gestión de mantenimiento. Consta de un formato para llevar los resultados de la evaluación y obtener el perfil de la empresa, el mismo se puede apreciar en el anexo A.



Una vez aplicado el instrumento, se procedió a realizar los cálculos, los cuales se expresan en la ficha de evaluación mostrada en la tabla 4.2; donde se reflejan los porcentajes parciales y totales de los principios básicos por área, en cuanto al desempeño de la gestión de mantenimiento. La estructura de la ficha es la siguiente:

- Encabezamiento, fecha, evaluador y nº de inspección.
- Columna C: Indica el valor máximo del demérito.
- Columna D: Indica el valor de los deméritos obtenidos por la empresa.
- Columna E: Indica la suma total de los deméritos alcanzados en (D).
- Columna F: Se coloca la diferencia entre la puntuación máxima de la columna (C) y el valor total de los deméritos de la columna (E).
- Se trazan barras horizontales que parte de la casilla correspondiente a los totales obtenidos en la columna (F) y se prolonga hasta el porcentaje parcial de cada capítulo obtenido y previamente indicado en la columna (G).



4.1.4 Análisis de los datos y diagnóstico de la situación actual

Los resultados obtenidos en las entrevistas y encuestas realizadas al personal del departamento de mantenimiento que interviene en los procesos administrativos y operativos, permitieron elaborar la ficha o estructura de valoración que se observa en la tabla 4.2, la cual contempla la evaluación de los sistemas de mantenimiento, tomando en cuenta las siguientes variables con sus respectivos resultados.

- | | |
|------------------------------------|-----|
| 1. Organización de mantenimiento: | 63% |
| 2. Planificación de mantenimiento: | 53% |
| 3. Mantenimiento rutinario: | 59% |
| 4. Mantenimiento preventivo: | 46% |
| 5. Mantenimiento mayor: | 60% |
| 6. Mantenimiento correctivo: | 64% |
| 7. Personal de mantenimiento: | 58% |
| 8. Apoyo logístico : | 60% |
| 9. Recursos: | 65% |

Para la realización de un análisis más detallado se elaboraron gráficas a partir de los datos obtenidos, las mismas se aprecian en las tablas 4.3 a la 4.5, donde aporta información de tendencias y promedios de cada área de interés, las cuales son de importancia ya que se puede observar las debilidades y fortalezas en cada una de ellas.

Tabla 4.3. Análisis porcentual por área.



EMPRESA: PDVSA-REL / Dpt. AUTOMATIZACIÓN & INSTRUMENTACIÓN

FECHA: 15 / 03 / 2010



Proceso de Work Management	Área o Proceso de la Empresa	Principio Básico	Evaluación	Evaluación por Zona	Evaluación Promedio
1. PLANIFICACIÓN	Planificación de Mantenimiento	Políticas para la Planificación	46%	Identificación del Trabajo 	Identificación del Trabajo
	Mantenimiento Rutinario	Planificación	62%		
	Mantenimiento Preventivo	Planificación	48%		
	Mantenimiento Mayor	Planificación	57%		
	Mantenimiento Predictivo	Determinación de Parámetros	33%		
			Planificación			35%
	VALOR PROMEDIO					47%
2. PRIORIZACIÓN	Planificación de Mantenimiento	Objetivos y Metas	57%	Priorización del Trabajo 	Priorización del Trabajo
	Mantenimiento Correctivo	Atención de Fallas	67%		
	VALOR PROMEDIO					62%

Fuente propia

Tabla 4.4. Continuación análisis porcentual por área.



EMPRESA: PDVSA-REL / Dpt. AUTOMATIZACIÓN & INSTRUMENTACIÓN

FECHA: 15 / 03 / 2010



3.	PROGRAMACIÓN	Mantenimiento Rutinario	Programación	68%	<p>Programación del Trabajo</p>	<p>Programación del Trabajo</p>
		Mantenimiento Preventivo	Programación	48%		
		Mantenimiento Mayor	Programación	64%		
		Mantenimiento Predictivo	Programación	30%		
		Personal de Mantenimiento	Cuantificación Necesidades de Personal	61%		
		Apoyo Logístico	Apoyo Administrativo	55%		
		Recursos	Equipos, Herramientas, Instrumentos, Materiales	65%		
		VALOR PROMEDIO		56%		
4.	EJECUCIÓN	Mantenimiento Rutinario	Implantación	68%	<p>Ejecución del Trabajo</p>	<p>Ejecución del Trabajo</p>
		Mantenimiento Preventivo	Implantación	48%		
		Mantenimiento Mayor	Implantación	64%		
		Mantenimiento Predictivo	Implantación	30%		
		Mantenimiento Correctivo	Supervisión y Ejecución	73%		
		VALOR PROMEDIO		56%		

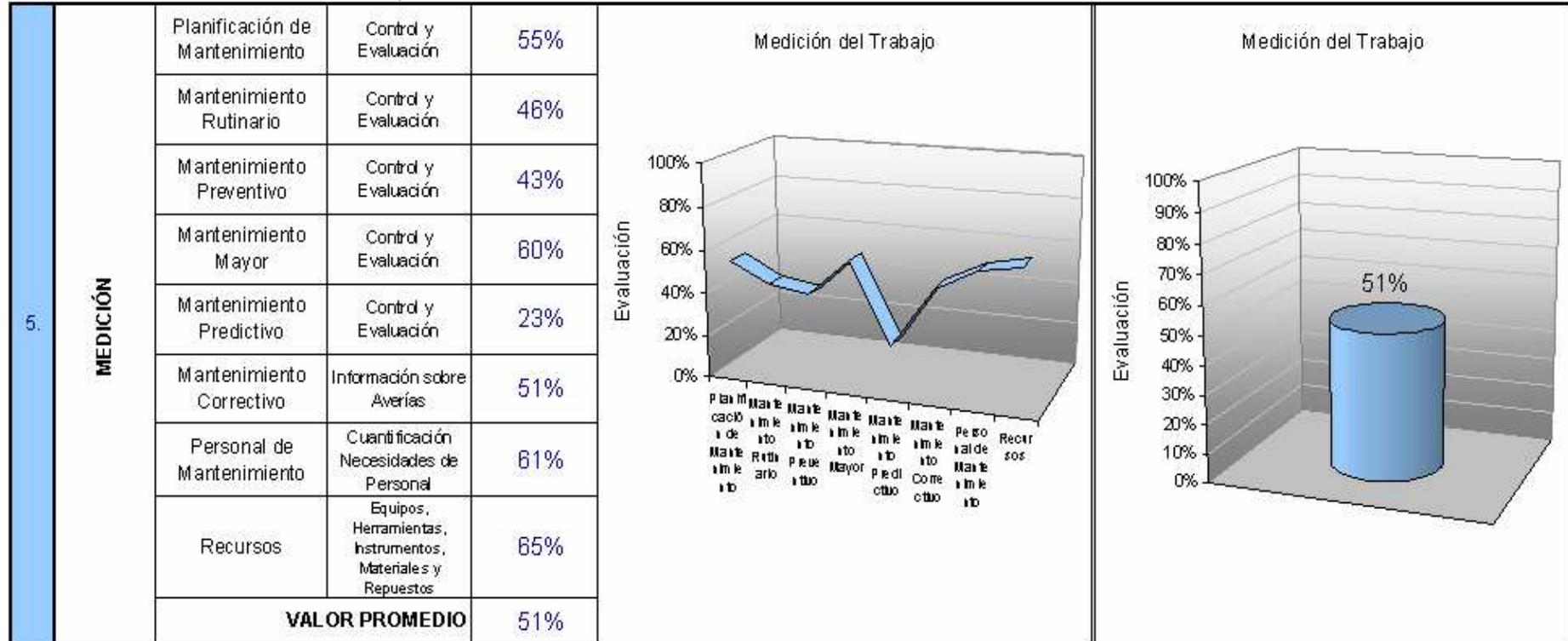
Fuente propia

Tabla 4.5. Continuación: análisis porcentual de cada área.



EMPRESA: PDVSA-RELP / Dpt. AUTOMATIZACIÓN & INSTRUMENTACIÓN

FECHA: 15 / 03 / 2010



Fuente propia



La cuantificación de las respuestas obtenidas en las 17 encuestas aplicadas, arrojaron una puntuación global de 57%, lo que significa que la gestión del mantenimiento se encuentra en un nivel o etapa de “Entendimiento”, esto se traduce en que se entiende los criterios y características de las mejores prácticas y los beneficios que trae implantar dichos criterios.

Gráficamente, se puede apreciar en la figura 4.1, la ponderación obtenida en forma general para cada una de las variables consideradas en la investigación, observándose que las variables de porcentaje más bajo corresponden a los factores relacionados con la planificación del mantenimiento y el área de medición y control con un 47% y 51% respectivamente.

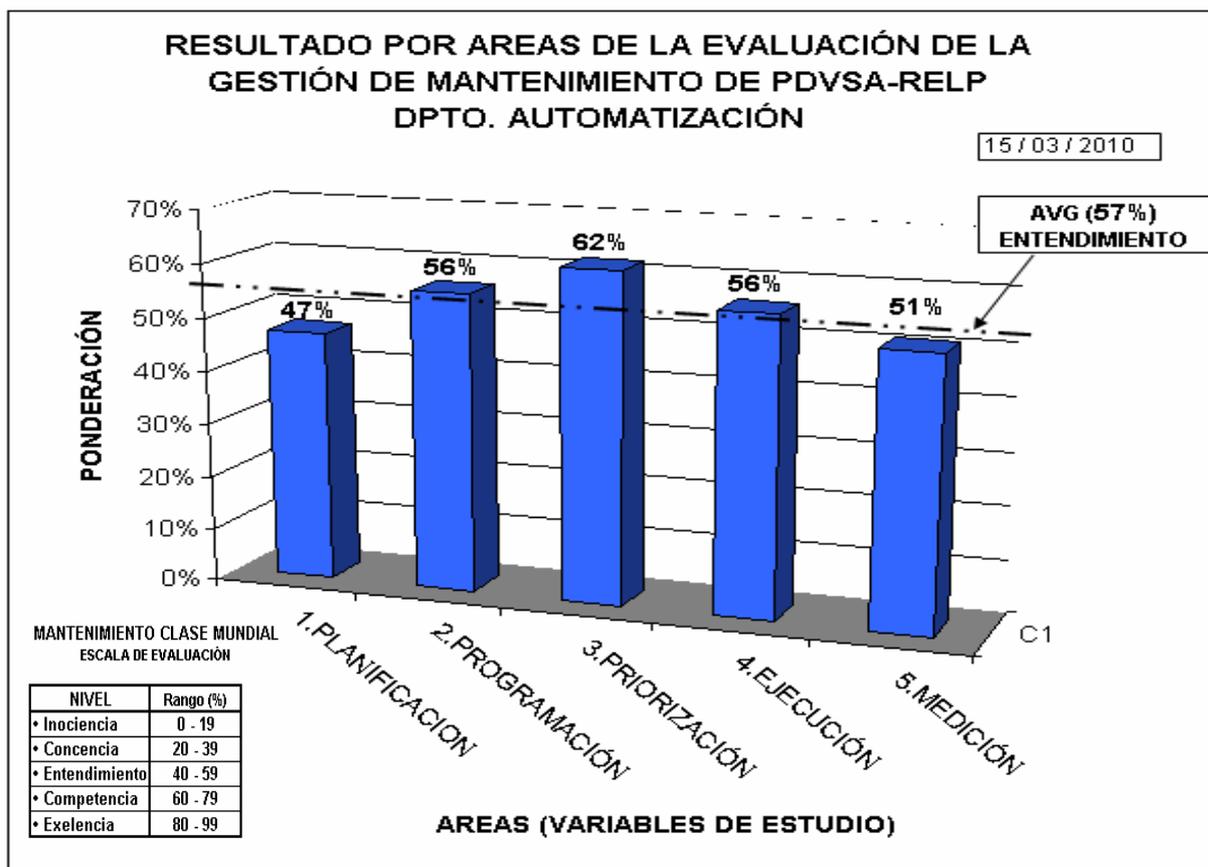


Fig. 4.1. Escala de resultados por área. Fuente propia.



Durante el proceso de investigación para la elaboración de este objetivo y con el propósito de reforzar o validar estos resultados, presentamos un gráfico (ver figura 4.2), que nos indica el posicionamiento de la empresa PDVSA en el mantenimiento “clase mundial”, clasificándola para el año 1996 en una etapa de “inocencia” y logrando una subida de escalón en el año 2003 a la etapa de “entendimiento”, el cual indica que los resultados obtenidos del instrumento aplicado al Departamento de Automatización están bastante ajustados a la realidad actual.

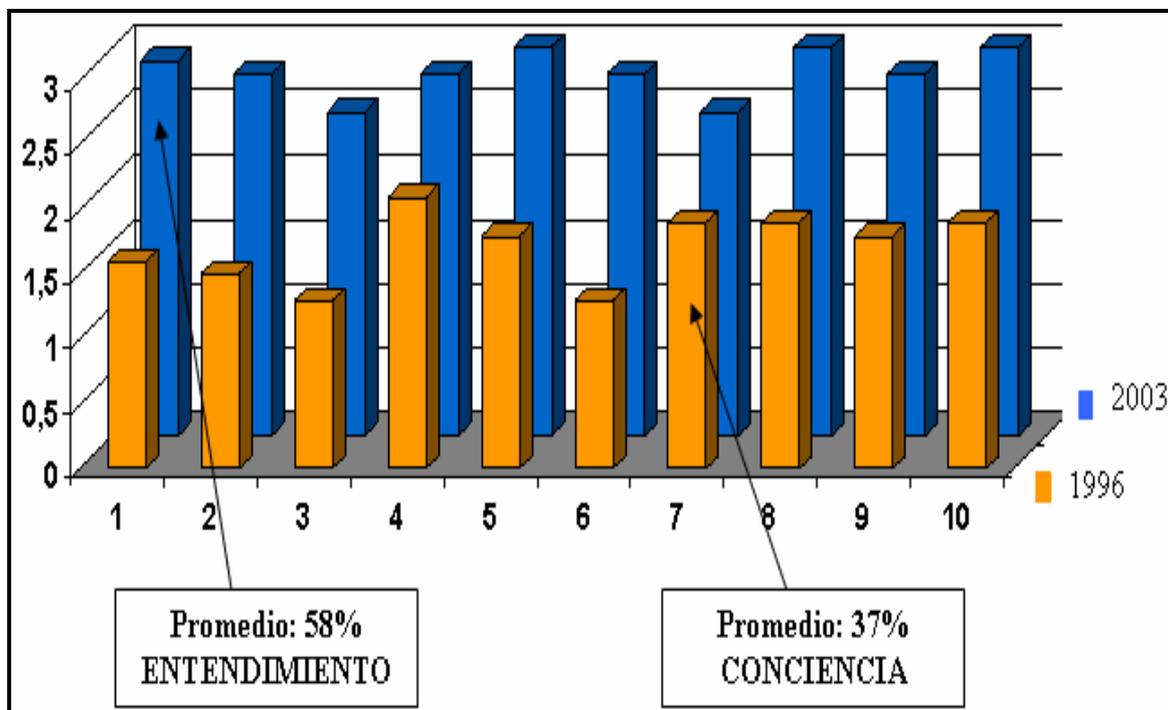


Figura 4.2. Posicionamiento de PDVSA en el mantenimiento clase mundial. Fuente ASSET TOTAL OUTPUT CA., CURSO: Análisis de criticidad en sistemas industriales, abril 2008.

Con las calificaciones de cada área de la organización de mantenimiento y de acuerdo a los resultados ponderados obtenidos en la ficha de evaluación, se presenta en la tabla 4.6, las fortalezas y debilidades que ayudarán a fijar acciones correctivas y por otra parte, a establecer los objetivos que pretende lograr la organización.



Tabla 4.6. Fortalezas y debilidades.

Área	Principio Básico	(%)	Fortalezas
Organización de la Empresa	Autoridad y Autonomía	73%	Las personas asignadas al desarrollo y cumplimiento de las diferentes funciones, cuentan con el apoyo necesario de la dirección de la organización, y tienen la suficiente autoridad y autonomía para el cumplimiento de las funciones y responsabilidades establecidas.
Organización de Mantenimiento	Funciones y Responsabilidades	68%	La función mantenimiento, está bien definida y ubicada dentro de la organización y posee un organigrama para este departamento. Se tienen por escrito las diferentes funciones y responsabilidades para los distintos componentes dentro de la organización de mantenimiento. Los recursos asignados son adecuados, a fin de que la función pueda cumplir con los objetivos planteados.
Mantenimiento Predictivo	Planificación	—	La organización dispone de un estudio previo que le permita conocer los objetos que requieren mantenimiento predictivo. Así como con una infraestructura de apoyo para realizar dicho mantenimiento.
Mantenimiento Mayor	Planificación	64%	Las actividades de mantenimiento mayor se realizan siguiendo una secuencia programada, de manera que cuando ocurra una falla no se pierda tiempo ni se pare la producción. La Organización de mantenimiento cuenta con programas, planes, recursos y personal para ejecutar mantenimiento mayor de la forma más eficiente y eficaz posible.
Apoyo Logístico	Apoyo Administrativo	55%	La Organización de mantenimiento cuenta con el apoyo de la administración de la empresa; en cuanto a recursos humanos, financieros y materiales. Los recursos son suficientes para que se cumplan los objetivos trazados por la organización.

Área	Principio Básico	(%)	Debilidades
Planificación de Mantenimiento	Objetivos y Metas	53%	La Organización de mantenimiento no posee un plan donde se especifiquen detalladamente las necesidades reales y objetivas de mantenimiento para los diferentes objetos o sistemas.
Planificación de Mantenimiento	Políticas Para la Planificación	46%	A los sistemas sólo se les realiza mantenimiento cuando fallan. No se llevan registros de fallas y causas por escrito. No se llevan estadísticas de tiempos de parada y de tiempo de reparación.
Personal de Mantenimiento	Motivación	60%	El personal no da la suficiente importancia a los efectos positivos con que incide el mantenimiento para el logro de las metas de calidad y producción.
Recursos	Materiales	—	No se ha determinado el costo por falta de material.

Fuente propia



Para complementar el análisis interno realizado, se analizaron los factores externos que inciden en el entorno que rodea a la organización de mantenimiento, lo cual permitió revelar las oportunidades y amenazas claves que confronta el departamento. Este análisis externo proporciona información objetiva para la formulación de estrategias que permitan neutralizar o disminuir las amenazas y aprovechar las oportunidades de su entorno (ver tabla 4.7).

Tabla 4.7. Identificación de oportunidades y amenazas.

Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none">▪ El apoyo financiero del corporativo, generado por el monto de la producción de la empresa en el país, y el auge comercial en las ventas.	<ul style="list-style-type: none">▪ Baja disponibilidad de materiales y principalmente de los repuestos necesarios para la ejecución de las actividades de mantenimiento.
<ul style="list-style-type: none">▪ Avances Tecnológicos y disponibilidad de tecnologías de información y procesamiento de datos, para un mayor análisis y control de la información.	<ul style="list-style-type: none">▪ Desempeño deficiente por parte de las contratistas o empresas de servicios que representan la fuerza laboral requerida por la organización de mantenimiento.
<ul style="list-style-type: none">▪ Nuevas tendencias y filosofías de mantenimiento, que cuentan con técnicas y métodos modernos.	<ul style="list-style-type: none">▪ Falta de normalización de formatos y procedimientos de comunicación entre los departamentos.

Fuente propia.

4.1.4.1. Diseño de las estrategias.

Para la formulación de estrategias que al vincularlas con las actividades de mantenimiento generen valor, se empleó la matriz FODA, representadas en las tablas 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 respectivamente. Esta herramienta combina los factores externos (oportunidades y amenazas) con los factores internos (fortalezas y debilidades) y es lo que se conoce como cadena de valor.



Tabla 4.8. Estrategias FO de la matriz FODA.

FORTALEZAS (F)	
<ul style="list-style-type: none"> ■ La función mantenimiento, está bien definida, ubicada dentro de la organización y posee un organigrama para este departamento. ■ Las personas asignadas para el cumplimiento de las funciones y responsabilidades cuentan con el apoyo de la gerencia y poseen la suficiente autoridad y autonomía para el desarrollo, cumplimiento de las funciones y responsabilidades establecidas. ■ Se estimula al personal con cursos que mejoren su capacidad y por ende su situación dentro del sistema. ■ Se cuenta con una infraestructura de apoyo para realizar mantenimiento predictivo. ■ La Organización de mantenimiento posee los equipos, instrumentos y herramientas adecuados para llevar a cabo todas las acciones de mantenimiento y así facilitar la operabilidad de los sistemas. 	
OPORTUNIDADES(O)	ESTRATEGIAS (FO)
<ul style="list-style-type: none"> ■ El apoyo financiero del corporativo, generado por el monto de la producción de la empresa en el país, y el auge comercial en las ventas. ■ Avances Tecnológicos y disponibilidad de tecnologías de información y procesamiento de datos, para un mayor análisis y control de la información. ■ Nuevas tendencias y filosofías de mantenimiento, que cuentan con técnicas y métodos modernos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fortalecer la motivación del personal mediante el establecimiento de incentivos. 2. Realizar un plan de mantenimiento dinámico y flexible acorde al contexto operacional y los resultados de la evaluación de la gestión. 3. Realizar estudios de estimación de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. 4. Entrenar al personal en el uso de nuevas y modernas tecnologías de información.

Fuente propia



Tabla 4.9. Estrategias FA de la matriz FODA.

FORTALEZAS (F)	
<ul style="list-style-type: none"> ■ La función mantenimiento, está bien definida y ubicada dentro de la organización y posee un organigrama para este departamento. ■ Las personas asignadas para el cumplimiento de las funciones y responsabilidades cuentan con el apoyo de la gerencia y poseen la suficiente autoridad y autonomía para el desarrollo y cumplimiento de las funciones y responsabilidades establecidas. ■ Se estimula al personal con cursos que mejoren su capacidad y por ende su situación dentro del sistema. ■ Se cuenta con una infraestructura de apoyo para realizar mantenimiento predictivo. ■ La Organización de mantenimiento posee los equipos instrumentos y herramientas adecuados para llevar a cabo todas las acciones de mantenimiento y así facilitar la operabilidad de los sistemas. 	
AMENAZAS (A)	ESTRATEGIAS (FA)
<ul style="list-style-type: none"> ■ Baja disponibilidad de materiales y principalmente de los repuestos necesarios para la ejecución de las actividades de mantenimiento. ■ Falta de normalización de formatos y procedimientos de comunicación entre los departamentos. ■ Desempeño deficiente por parte de las contratistas o empresas de servicios que representan la fuerza laboral requerida por la organización de mantenimiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mantener actualizado el inventario de repuestos y materiales. 2. Establecer una política de repuestos en función de la facilidad de adquisición, plazo de entrega y frecuencia de sustitución. 3. Incrementar la seguridad de las labores de mantenimiento, garantizando la protección del medio ambiente.

Fuente propia



Tabla 4.10. Estrategias DO de la matriz FODA

DEBILIDADES (D)	
<ul style="list-style-type: none"> ■ La Organización de mantenimiento no posee un plan donde se especifiquen detalladamente las necesidades reales y objetivas de mantenimiento para los diferentes objetos a mantener. ■ A los sistemas sólo se les realiza mantenimiento cuando fallan. ■ No se dispone de un inventario técnico de objetos de mantenimiento que permita conocer la función de los mismos dentro del sistema al cual pertenece. ■ No se llevan registros por escrito de aparición de fallas para actualizarlas y evitar su futura presencia. ■ No se llevan estadísticas de tiempos de parada, tiempo de reparación y tiempo para la falla. ■ La información no es procesada y analizada para la futura toma de decisiones. ■ La organización no cuenta con estudios que permitan determinar la confiabilidad y mantenibilidad de los objetos de mantenimiento. ■ El personal no da la suficiente importancia a los efectos positivos con que incide el mantenimiento para el logro de las metas de calidad y producción. ■ No se lleva un adecuado control de las actividades de ejecución, debido al uso de escasos indicadores de gestión. 	
OPORTUNIDADES (O)	ESTRATEGIAS (DO)
<ul style="list-style-type: none"> ■ El apoyo financiero del corporativo, generado por el monto de la producción de la empresa en el país, y el auge comercial en las ventas. ■ Avances Tecnológicos y disponibilidad de tecnologías de información y procesamiento de datos, para un mayor análisis y control de la información. ■ Nuevas tendencias y filosofías de mantenimiento, que cuentan con técnicas y métodos modernos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar el proceso de planificación estratégica de forma continua para la formulación de estrategias adaptadas a los cambios del entorno. 2. Establecer mecanismos eficientes de comunicación de la información. 3. Mejorar el control de las actividades ejecutadas mediante un seguimiento continuo desde la generación de las órdenes de trabajo hasta el cierre de las mismas. 4. Establecer métodos basados en monitoreo de condiciones para la intervención planificada de los equipos.

Fuente propia



Tabla 4.11. Estrategias DA de la matriz FODA.

DEBILIDADES (D)	
<ul style="list-style-type: none"> ■ La Organización de mantenimiento no posee un plan donde se especifiquen detalladamente las necesidades reales y objetivas de mantenimiento para los diferentes objetos a mantener. ■ A los sistemas sólo se les realiza mantenimiento cuando fallan. ■ No se dispone de un inventario técnico de objetos de mantenimiento que permita conocer la función de los mismos dentro del sistema al cual pertenece. ■ No se llevan registros por escrito de aparición de fallas para actualizadas y evitar su futura presencia. ■ No se llevan estadísticas de tiempos de parada, tiempo de reparación y tiempo para la falla. ■ La información no es procesada y analizada para la futura toma de decisiones. ■ La organización no cuenta con estudios que permitan determinar la confiabilidad y mantenibilidad de los objetos de mantenimiento. ■ El personal no da la suficiente importancia a los efectos positivos con que incide el mantenimiento para el logro de las metas de ... ■ No se lleva un adecuado control de las actividades de ejecución, debido al uso de escasos indicadores de gestión. 	
AMENAZAS (A)	ESTRATEGIAS (DA)
<ul style="list-style-type: none"> ■ Falta de normalización de formatos y procedimientos de comunicación entre los departamentos. ■ Baja disponibilidad de materiales y principalmente de los repuestos necesarios para la ejecución de las actividades de mantenimiento. ■ Desempeño deficiente por parte de los contratistas o empresas de servicios que representan la fuerza laboral requerida por la organización de mantenimiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planificar los trabajos de mantenimiento de forma coordinada con operaciones. 2. Aseguramiento de la calidad de los formatos y procedimientos mediante normas y estándares actualizados. 3. Disponibilidad de un inventario técnico completo y actualizado de los equipos, que permita conocer sus funciones, ubicación, datos de operación y mantenimiento. 4. Emplear indicadores para medir y evaluar el cumplimiento de los objetivos y metas de la organización de mantenimiento.

Fuente propia



4.2 SEGUNDA FASE. Identificación de la ruta de mantenimiento y ubicación técnica.

La identificación de la ruta de mantenimiento constituye el fundamento de los sistemas de gestión del mantenimiento y consiste en una lista de todos los objetos y equipos que estén bajo la responsabilidad de la organización. Los objetos representan el conjunto de activos, equipos, instrumentos que conforman los sistemas productivos (planta industrial).

4.2.1 Ubicación técnica de los HPM.

En el sistema de control de la planta de FCC se han realizado varias modificaciones, algunas de las cuales se describen a continuación:

- Para mediados del año 2006 se llevó a cabo el proyecto “Adecuación del sistema TDC-3000 de las unidades de Destilación y Especialidades, que se basó en la migración de las redes HIWAY02 y HIWAY04 a los HPM 13/14 y 15/16 respectivamente, los cuales fueron incorporados a la red UCN 06.
- Posteriormente con el proyecto PICC, se incorporaron los HPM 23/24 en la UCN05 para la unidad FCC. Debido a los cambios realizados se hizo, una actualización desde el punto de vista de la topología de la red del sistema TDC-3000. Los resultados se presentan a continuación:

Se estableció como punto de partida para la elaboración de este plan, la identificación de los HPM del sistema de control distribuido TDC-3000 de Honeywell, ya que es uno de los más importantes sistemas que controla el proceso de refinación. En la figura 4.3 se presenta la ubicación de los mismos.

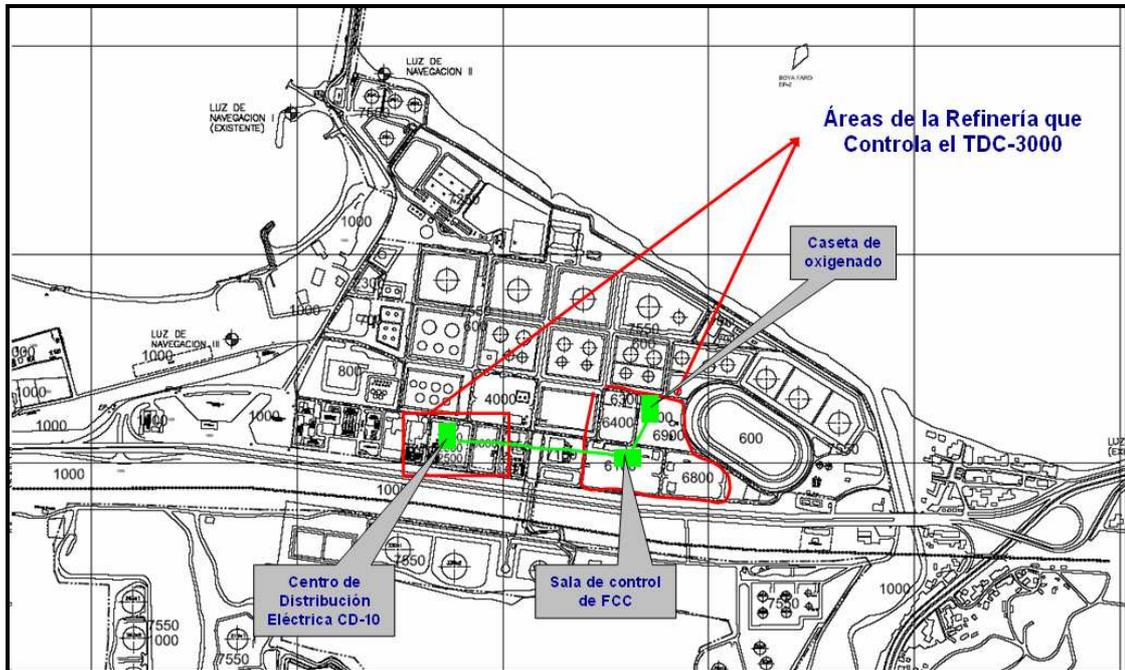


Figura 4.3 Áreas de la refinería que controla el TDC-3000 .Fuente propia

La ubicación de los HPM en sala de control representada por la UCN05, UCN07, UCN10 y HWY09, se puede visualizar a través del esquema mostrado en la figura 4.4.

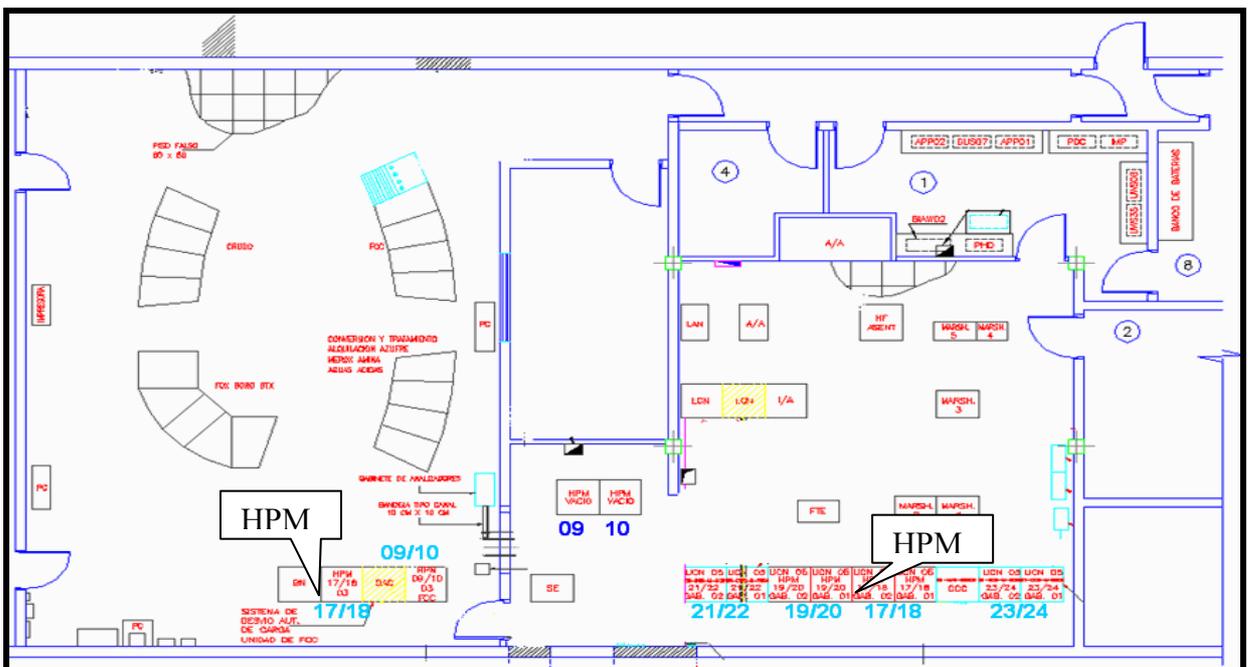


Figura 4.4 Ubicación de los HPM en sala de control de FCC. Fuente propia.



Al igual que el esquema anterior la ubicación de los HPM en sala del CD-10 están representados por las UCN08 y HWY08, así como también se aprecia en la caseta de la planta de oxigenados por las UCN10 y se representan en las figuras 4.5 y 4.6 respectivamente.

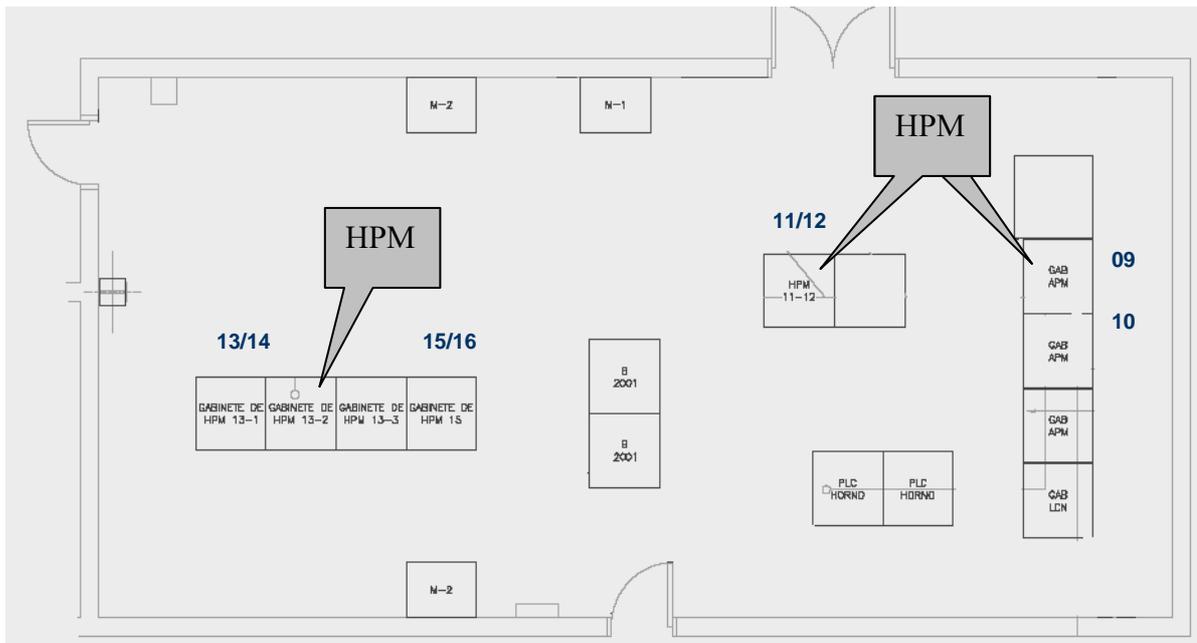


Figura 4.5 Ubicación de los HPM en el CD-10. Fuente propia.

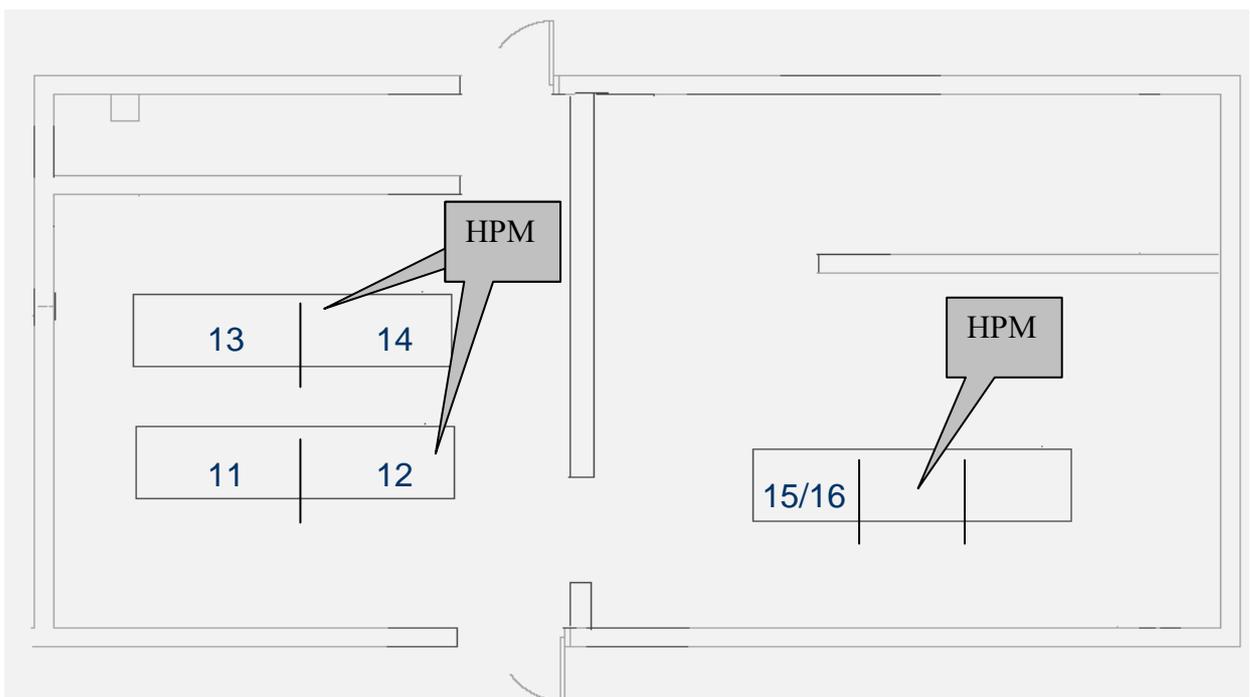


Figura 4.6 Ubicación de los HPM en caseta planta de Oxigenados. Fuente propia.



- **Área de Conversión / Planta FCC:**

Esta área está representada en la figura 4.7 por la UCN05, manejada por los NIM's 09/10 y compuesta por los controladores HPM's 09/10, 19/20, 23/24 y el controlador de parada de emergencia SM 25/26.

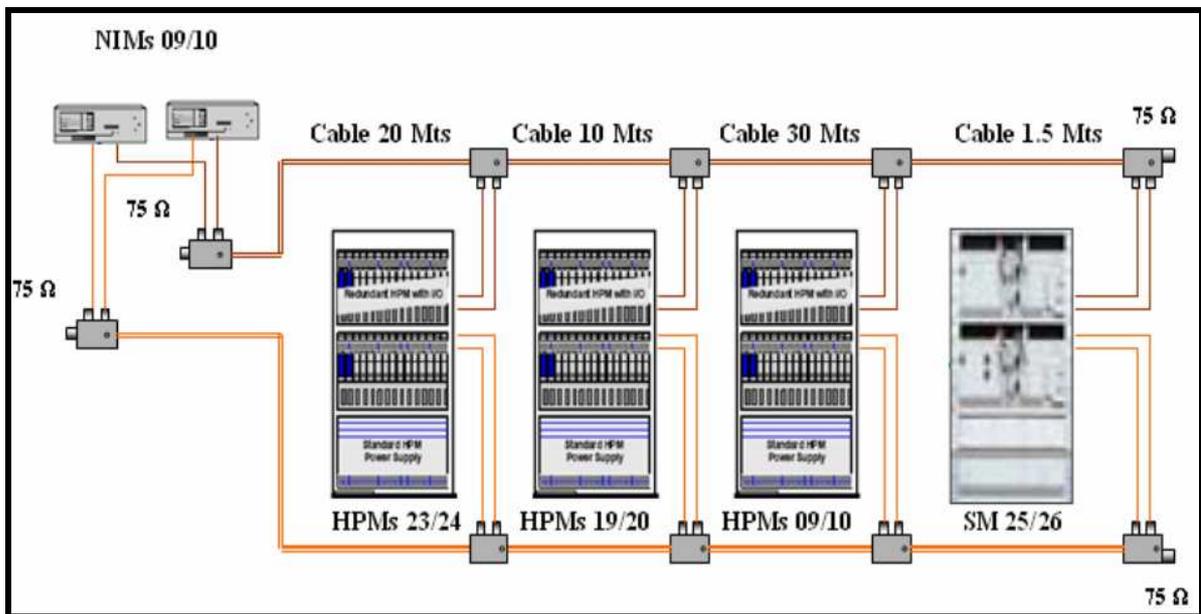


Figura 4.7. Red de control UCN 05 sala de FCC. Fuente: Honeywell 2009

- **Área Destilación y Especialidades / Planta de Crudo:**

Esta área está representada en la figura 4.8 por la UCN06, manejada por los NIM's 51/52 y compuesta por los controladores HPM's 09/10, 11/12, 13/14 y 15/16.

- **Planta de Vacío:**

La planta de Vacío está representada en la figura 4.9 por la UCN07, manejada por los NIM's 49/50 y compuesta por el controlador HPM 09/10.

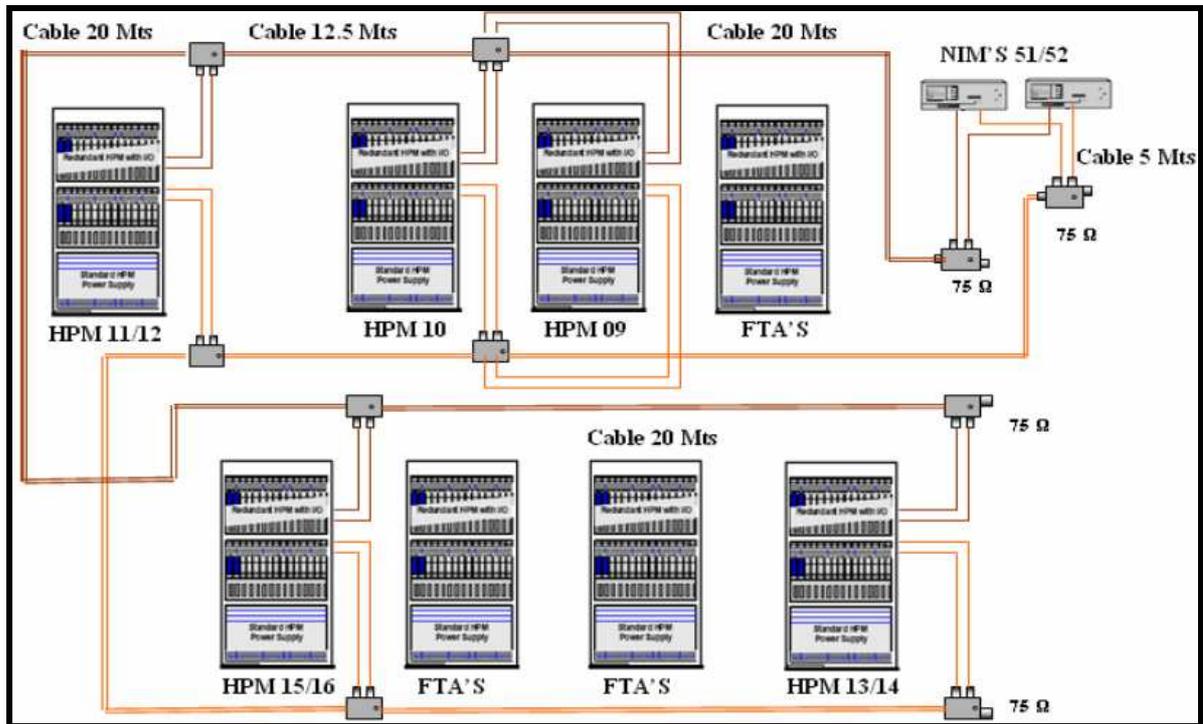


Figura 4.8. Red de control UCN 06 sala de FCC. Fuente: Honeywell 2009

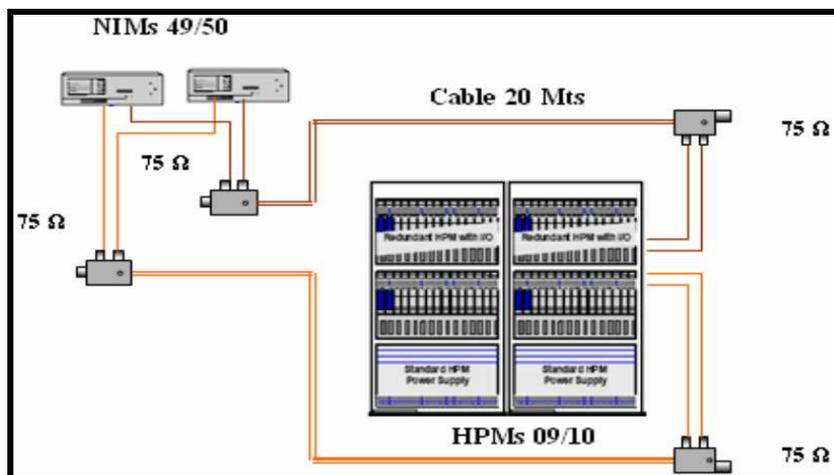


Figura 4.9. Red de control UCN 07 sala de FCC. Fuente: Honeywell 2009

- **Área Tratamiento:**

El área de Tratamiento está representada en la figura 4.10 por la UCN10, manejada por los NIM's 11/12 y compuesta por los controladores HPM's 11/12, 13/14, 15/16, 17/18 y 21/22.

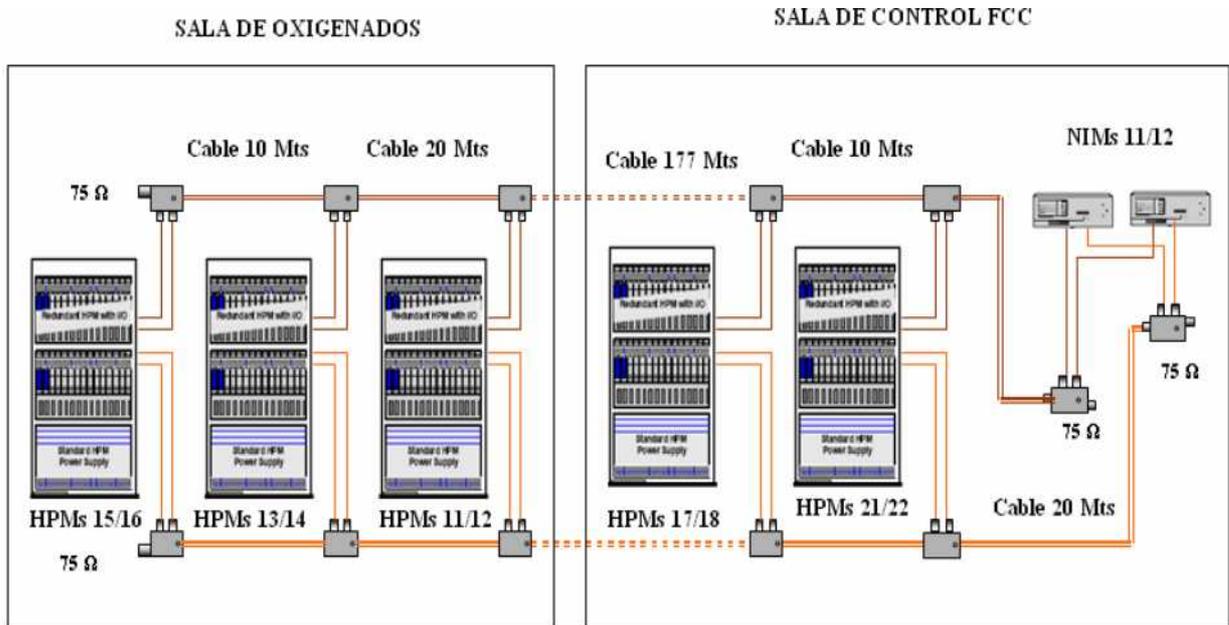


Figura 4.10. Red de control UCN 10 sala de FCC. Fuente: Honeywell 2009

En la tabla 4.12 se presenta un resumen de lo antes expuesto clasificando los HPM por planta y red de control (UCN) la misma nos aporta información precisa en cuanto a su identificación.

Tabla 4.12. Clasificación de los HPM por planta y red de control (UCN).

PLANTA	CONVERSIÓN	DEST Y ESP	VACIO	TRATAMIENTO
UCN	05	06	07	10
HPM	09 / 10	09 / 10	09 / 10	11 / 12
	19 / 20	11 / 12	.....	13 / 14
	23 / 24	13 / 14	.....	15 / 16
	.....	15 / 16	.....	17 / 18
	.....	.....	.....	21 / 22

Fuente propia.

4.2.2 Estación de operaciones (GUS).

Permite monitorear toda la información de los dispositivos conectados al proceso, subsistemas de instrumentación y computadoras. La información es desplegada en un monitor



de tecnología táctil de alta resolución, y las diferentes ventanas a mostrar son accedidas de distintas maneras, ya sea presionando una tecla en el tablero de control o, a través de la selección de un área específica en el monitor. Se disponen de siete estaciones GUS y están distribuidas como se muestra en la figura 4.11.

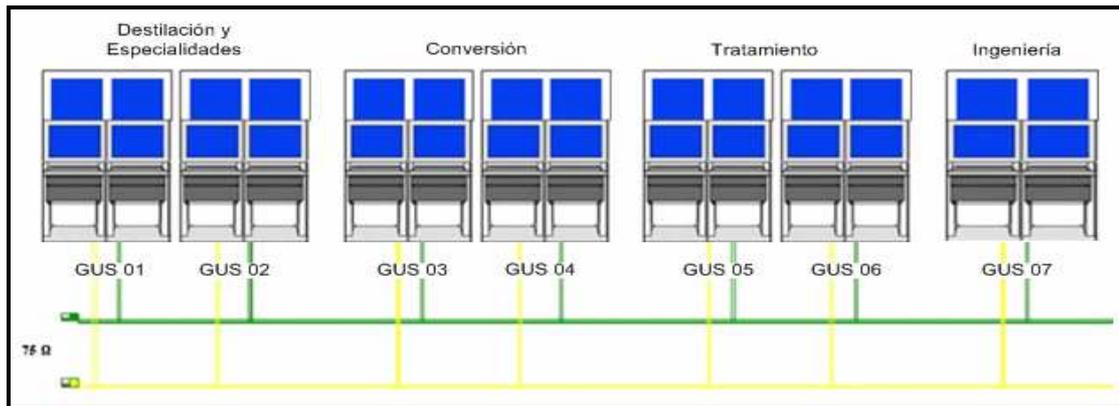


Figura 4.11. Mapa topológico LCN sala de control de FCC. Fuente: Honeywell 2009

El software instalado en las estaciones GUS es la versión R360.1 y todos los equipos de la sala de control son modelo Dell Precision 470 con sistema operativo Windows 2000.

4.2.3 El módulo histórico (HM).

Almacena programas de imágenes, y todo lo concerniente con la base de datos, la información de diagnóstico, y los datos de la historia del sistema. Todo opera bajo un lenguaje propio del sistema TDC-3000 y están identificados como: HM-19, HM-20, HM-24 (ver figura 4.12).

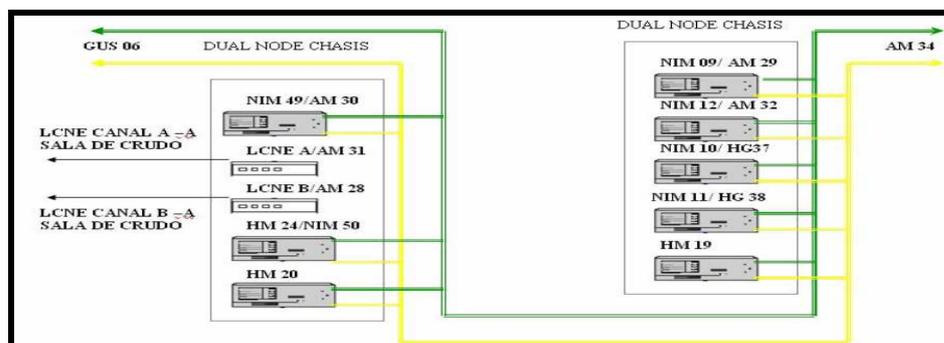


Figura 4.12. Mapa topológico gabinete LCN sala de control FCC. Fuente: Honeywell.



4.2.4 Módulo de aplicación (AM).

Los módulos de aplicación AM, están destinados a la implementación de estrategias de control avanzado, que superen la capacidad de los controladores ubicados sobre las redes de datos. Debido a que el módulo de aplicación se encuentra ubicado en la red LCN, aprovecha el acceso a una extensa información sobre el funcionamiento del proceso. Estos módulos están identificados como: AM-28, AM-29, AM-30, AM-31, AM-32, (ver figura 4.13).

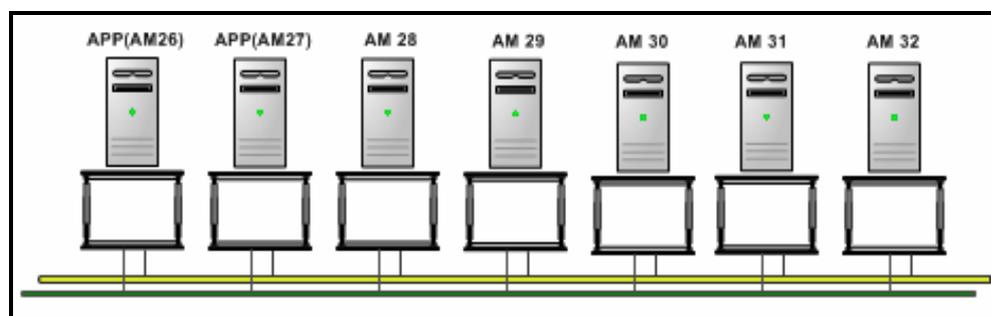


Figura 4.13. Mapa topológico sala de ingeniería. Fuente: Honeywell 2009

4.2.5 Los módulos (APP)

Los APP cumplen con la misma función del módulo AM, son computadores que trabajan con lenguajes de programación que corren en ambiente Windows NT y UNIX y sustituyen al AM26 y AM27. Estos poseen una interfaz que les permite comunicarse con el sistema TDC-3000 para la transferencia de datos empleados en las aplicaciones y algoritmos de control almacenados en los mismos, (ver figura 4.13).

4.2.6 Topología actualizada del sistema TDC-3000.

Una vez concluida la actualización de la red, resultó de un gran valor agregado para el Departamento de Automatización y los ingenieros encargados del mantenimiento de ésta área, ya que el mismo aporta información actualizada para el control y gestión de mantenimiento así como sus futuras modificaciones. Este esquema está representado en el apéndice A.1 y contempla los siguientes aspectos:



- Identificación y actualización de cada HPM.
- Identificación y ubicación de cada estación GUS, AM, APP, PDC, así como sus respectivas direcciones IP.
- Identificación de los nodos HWY08 y 09 que controlan los sistemas de parada de emergencia (ESD) de las plantas de FCC y Crudo.
- Representación del sistema AMS para la realización del mantenimiento predictivo de la instrumentación de la planta. Así como el sistema de control multivariable, para el control del antibombeo del tren recuperador de potencia y el compresor de gas húmedo.

El valor agregado que generó esta fase contempla un inventario de los componentes que conforman cada HPM (IOP y FTA), los cuales están representados en el apéndice A.2. A los controladores se le determinó su ubicación, cantidad, modelo y número de partes, esto se realizó con el fin de llevar un control estadístico y clasificación de sus modos de falla y así poder obtener los indicadores de confiabilidad, que son parte de la filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad MCC.

Finalmente en el apéndice A.3 se obtiene información de la ruta de mantenimiento y cómo van a quedar clasificados los componentes y sistemas para la ejecución del plan de mantenimiento basado en tiempo (MBT). Este formato será de gran utilidad ya que el mismo servirá de instrumento contralor tanto para el departamento como para el ingeniero mantenedor del sistema.



4.3 TERCERA FASE. Análisis de criticidad.

La Unidad de FCC cuenta con 363 equipos y más de 2000 instrumentos funcionando actualmente. Dentro de este gran número de instrumentos, fueron seleccionados algunos, ya que realizar el estudio de criticidad a la totalidad de los instrumentos, es muy dispendioso y no es alcance de este proyecto. La escogencia se basó en un estudio elaborado por La Superintendencia de Ingeniería de Instalación, el cual aportó los equipos más importantes dentro del proceso, dichos equipos se aprecian en la tabla 4.13.

Tabla 4.13 Listado de equipos a estudiar dentro del análisis de criticidad.

EQUIPOS DE ALTA CRITICIDAD (ESTÁTICOS)	
D - 6103	REGENERADOR SUPERIOR
D - 6104	REGENERADOR INFERIOR
D - 6101	REACTOR
D - 6102	DESPOJADOR DEL REACTOR

Fuente propia.

4.3.1 Listado de equipos a estudiar dentro del análisis de criticidad.

Los equipos seleccionados dentro de éste estudio, están clasificados como equipos estáticos de alta criticidad. Estos equipos pertenecen a la sección de Reacción de la unidad de FCC como se aprecia en la figura 4.14. En las figuras B.1 y B.2 del anexo B, se visualizan los P&D de los equipos mencionados.

4.3.2 Alcance y objetivo del estudio de criticidad.

Para la determinación de la criticidad de los instrumentos, se seleccionó la metodología basada en la teoría de riesgo siguiendo los lineamientos establecidos en el informe técnico denominado “Metodología para evaluar confiabilidad en instrumentación” N° INT-7572-2000, emitido por PDVSA-INTEVEP.

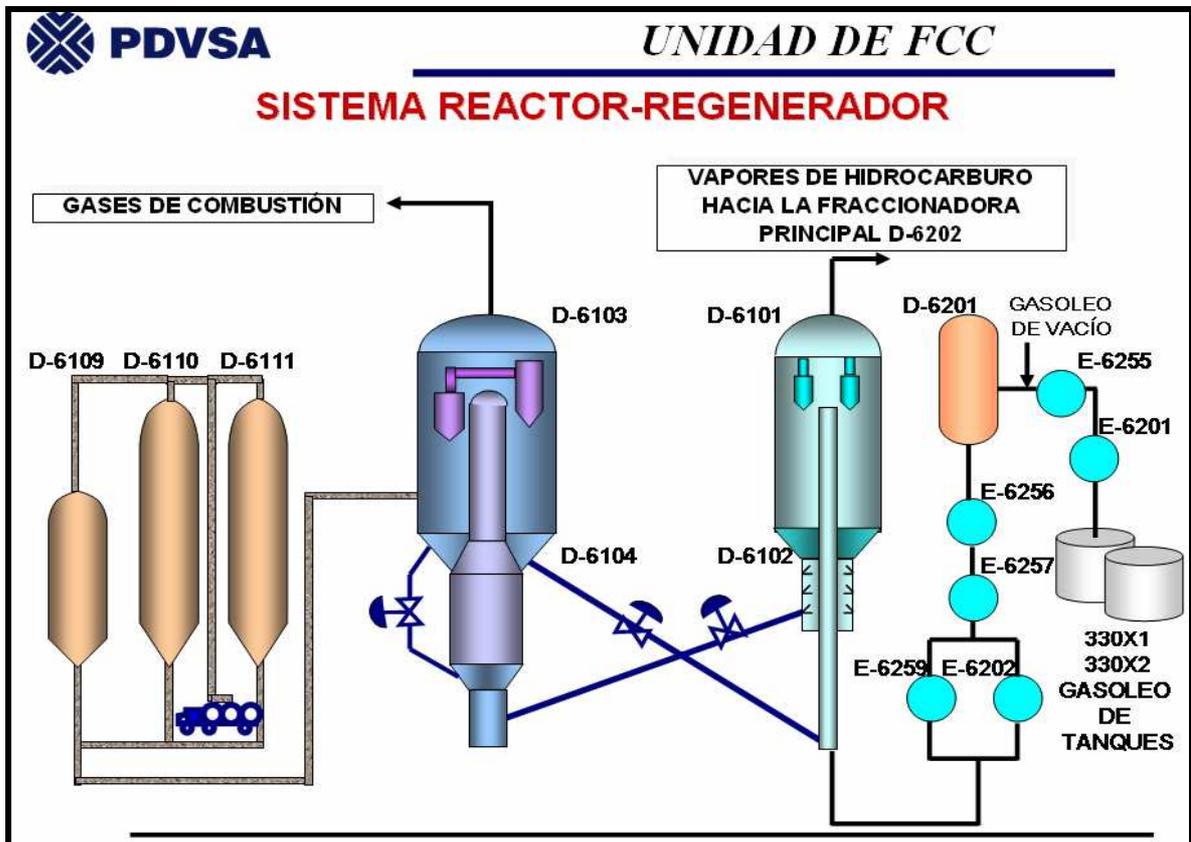


Figura 4.14 Esquema general del sistema Reactor – Regenerador. Fuente PDVSA- RELP.

Se deben definir los instrumentos críticos por sistema, para establecer lineamientos que optimicen la gestión del mantenimiento preventivo y correctivo, revisando las frecuencias de intervención que eliminen las tareas de mantenimiento innecesario las cuales originan pérdida de oportunidad en tiempo y recursos.

4.3.3 Lista de instrumentos seleccionados para estudio de criticidad.

Los instrumentos seleccionados para la realización del análisis de criticidad son los mostrados en la tabla 4.14, los mismos están clasificados por equipo, número de tag y número de plano (DTI).



Tabla 4.14 Lista de instrumento seleccionados para estudio de criticidad.

EQUIPO	INSTRUM (TAG)	DTI	EQUIPO	INSTRUM (TAG)	DTI	EQUIPO	INSTRUM (TAG)	DTI
D-6101/02	61-FV-05	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-139F	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-159C	6100-0009
D-6101/02	61-FV-05C	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-140A	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-159D	6100-0009
D-6101/02	61-FV-06	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-140B	6100-0009	D-6101/02	61-FY-06A	6100-0009
D-6101/02	61-HV-02A	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-140C	6100-0009	D-6101/02	61-FY-13	6100-0009
D-6101/02	61-HV-02B	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-140D	6100-0009	D-6101/02	61-FY-96	6100-0009
D-6101/02	61-HV-02C	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-140E	6100-0009	D-6101/02	61-FY-97	6100-0009
D-6101/02	61-LT-04	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-140F	6100-0009	D-6103/04	61-PDT-17	6100-0008
D-6101/02	61-LV-04	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-141A	6100-0009	D-6103/04	61-PDT-23	6100-0008
D-6101/02	61-PDIT-29	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-141B	6100-0009	D-6103/04	61-PT-15	6100-0008
D-6101/02	61-PDIT-34	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-141C	6100-0009	D-6103/04	61-TT-02	6100-0008
D-6101/02	61-PDT-26	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-141D	6100-0009	D-6103/04	61-TV-01	6100-0008
D-6101/02	61-TT-03	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-141E	6100-0009	D-6103/04	61-TV-02	6100-0008
D-6101/02	61-TV-03	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-141F	6100-0009	D-6103/04	61-HV-14	6100-0008
D-6101/02	61-FV-13	6100-0009	D-6101/02	61-TY-307A	6100-0009	D-6103/04	61-LT-03	6100-0008
D-6101/02	61-FV-96	6100-0009	D-6101/02	61-TY-307B	6100-0009	D-6103/04	61-TT-01	6100-0008
D-6101/02	61-FV-97	6100-0009	D-6101/02	61-TY-307C	6100-0009	D-6103/04	61-TT-102	6100-0008
D-6101/02	61-FV-98	6100-0009	D-6101/02	61-XV-02A	6100-0009	D-6103/04	61-TT-103	6100-0008
D-6101/02	61-FV-99	6100-0009	D-6101/02	61-XV-02B	6100-0009	D-6103/04	61-ZT-01	6100-0008
D-6101/02	61-PDT-01	6100-0009	D-6101/02	61-XV-02BB	6100-0009	D-6103/04	61-DT-02	6100-0008
D-6101/02	61-PDT-139A	6100-0009	D-6101/02	61-XY-02	6100-0009	D-6103/04	61-FT-02	6100-0008
D-6101/02	61-PDT-139B	6100-0009	D-6101/02	61-FT-13	6100-0009	D-6103/04	61-HV-13	6100-0008
D-6101/02	61-PDT-159F	6100-0009	D-6101/02	61-FY-05	6100-0009	D-6103/04	61-HY-13	6100-0008
D-6101/02	61-TY-03B	6100-0009	D-6101/02	61-FY-05A	6100-0009	D-6103/04	61-HY-14	6100-0008
D-6101/02	61-PDT-139C	6100-0009	D-6101/02	61-FY-05B	6100-0009	D-6103/04	61-PDT-178	6100-0008
D-6101/02	61-PDT-139D	6100-0009	D-6101/02	61-FY-05C	6100-0009	D-6103/04	61-PDT-25	6100-0008
D-6101/02	61-PDT-139E	6100-0009	D-6101/02	61-FY-06	6100-0009	D-6103/04	61-TY-01	6100-0008
D-6101/02	61-FY-98	6100-0009	D-6101/02	61-LY-04B	6100-0009	D-6103/04	61-TY-02B	6100-0008
D-6101/02	61-FY-99	6100-0009	D-6101/02	61-PDT-159B	6100-0009	D-6103/04	61-ZY-01	6100-0008

Fuente propia.



4.3.4 Selección del personal a entrevistar.

El personal seleccionado para aplicar la metodología de análisis de criticidad en cada área es el siguiente:

- Ing. de Proceso.
- Ing. de Riesgo.
- Ing. de Automatización
- Sup. Instrumentación

A todas las personas involucradas en el estudio se les informó sobre la metodología, los alcances y la importancia de los objetivos planteados. Se les dio instrucciones sobre como utilizar el formato de encuesta; además se puntualizó en el compromiso que se debe tener para que el estudio arroje los mejores resultados.

4.3.5 Recolección de datos.

La recolección de la información fue realizada a partir del instrumento evaluado por los ingenieros, técnicos y operarios de la planta. El formato de la encuesta, se muestra en la tabla 4.15, cada pregunta tiene una serie de respuestas con una ponderación establecida, la misma se presenta en la tabla 4.16 y se le asigna un valor específico a cada parámetro dependiendo de las características del instrumento a evaluar.

Una vez realizada la encuesta los resultados se clasifican en una hoja de cálculo, donde se obtiene el valor de criticidad para cada instrumento.



Tabla 4.15 Instrumento de evaluación para análisis de criticidad.

 REFINERÍA EL PALITO GERENCIA AIT REGIÓN CENTRAL DEPARTAMENTO DE AUTOMATIZACIÓN E INSTRUMENTACIÓN FORMATO PARA ENCUESTA ANÁLISIS DE CRITICIDAD	
• Nombre:	• Fecha:
• REFINERÍA: RELP	• PLANTA: FCC
• SUPERINTENDENCIA: AUTOMATIZ	• EQUIPO:
• SECCIÓN: MANTENIMIENTO	• INSTRUMENTO:
• ÁREA: CONVERSIÓN Y TRATAMIENTO	• TAG/SIGLAS:
1. Probabilidad de Ocurrencia de la Falla (NO)	2. Impacto en Reparación (IPR)
• Más de 2 ocurrencias por año	• Costos igual o mayor a 20.000 \$
• Entre 1 y 2 Ocurrencias por año	• Costos Inferiores a 20.000 \$
• Entre 0,5 y 1 Ocurrencia por año	
• Menos de 0,5 Ocurrencia por año	
3. Nivel de Flexibilidad Operacional (FO)	
• No existe opción de producción y no hay función de repuestos	
• Existe opción de Producción y no hay función de repuestos	
• Función de Repuestos disponible	
4. Impacto Operacional o Nivel de Severidad (NS)	
• Parada inmediata de toda la instalación.	
• Fallas que provocan daños a los equipos y estructuras afectando las operaciones (parada total de complejo o planta con repercusión en otras plantas)	
• Fallas que hacen inoperables los equipos y provocan la pérdida de función para la que fueron diseñados, afectando las operaciones- pérdida de producción o calidad de la planta	
• Fallas que provocan pérdida parcial de la función (afectan parcialmente las operaciones), costo operacionales adicionales mientras dura la disponibilidad	
• Fallas que no generan ningún efecto significativo sobre operaciones y/o producción	
5. Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (ISHA).	
• Fallas que pueden causar perdidas humanas y/o afectar el ambiente	
• Afecta el ambiente / instalaciones	
• Afecta las instalaciones causando daños severos	
• Provoca daños menores (ambiente – seguridad)	
• Sin riesgos en SHA	

Fuente propia.



Tabla 4.16 Ponderaciones de los parámetros del análisis de criticidad.

 REFINERÍA EL PALITO GERENCIA AIT REGIÓN CENTRAL DEPARTAMENTO DE AUTOMATIZACIÓN E INSTRUMENTACIÓN PLANTA DE FCC PONDERACIÓN DE LOS PARAMETROS DEL ANALISIS DE CRITICIDAD		
Definición	Descripción	Ponderación
1. Probabilidad de Ocurrencia de la Falla	Frecuencia	NO
▪ Más de 2 ocurrencias por año	Muy Alta	4
▪ Entre 1 y 2 Ocurrencias por año	Alta	3
▪ Entre 0,5 y 1 Ocurrencia por año	Promedio	2
▪ Menos de 0,5 Ocurrencia por año	Baja	1
2. Impacto en Reparación		IPR
▪ Costos igual o mayor a 20.000 \$		2
▪ Costos Inferiores a 20.000 \$		0
3. Nivel de Flexibilidad Operacional		FO
▪ No existe opción de producción y na hay función de repuesto		4
▪ Existe opción de producción y na hay función de repuesto		2
▪ Función de repuesto disponible		1
4. Nivel de Severidad de la Falla	Descripción	NS
▪ Parada inmediata de toda la instalación.	Catastrofico	10
▪ Fallas que provocan daños a los equipos y estructuras afectando las operaciones (parada total de complejo o planta con repercusión en otras plantas)	Muy Alto	7
▪ Fallas que hacen inoperables los equipos y provocan la pérdida de función para la que fueron diseñados, afectando las operaciones- pérdida de producción o calidad de la planta	Alto	4
▪ Fallas que provocan pérdida parcial de la función (afectan parcialmente las operaciones), costo operacionales adicionales mientras dura la disponibilidad	Moderado	2
▪ Fallas que no generan ningún efecto significativo sobre operaciones y/o producción	Bajo	1
5. Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente		ISHA
▪ Fallas que pueden causar perdidas humanas y/o afectar el ambiente		8
▪ Afecta el ambiente / instalaciones		7
▪ Afecta las instalaciones causando daños severos		5
▪ Provoca daños menores (ambiente – seguridad)		4
▪ Sin riesgos en SHA		0

Fuente propia.

4.3.6 Resultados del estudio de criticidad.

Basado en el estudio de la metodología para evaluar confiabilidad en instrumentación realizado en el capítulo II de la sección 2.4.1, el primer paso para obtener los resultados del análisis de criticidad es establecer los puntajes de los parámetros dependiendo de la evaluación del equipo. Un ejemplo es el mostrado en la figura 4.15 donde se aprecia el instrumento a evaluar resaltado en amarillo, transmisor diferencial de presión (61-PDT-17) y los resultados de las evaluaciones hechas por el personal seleccionado se aprecian en la tabla 4.17.

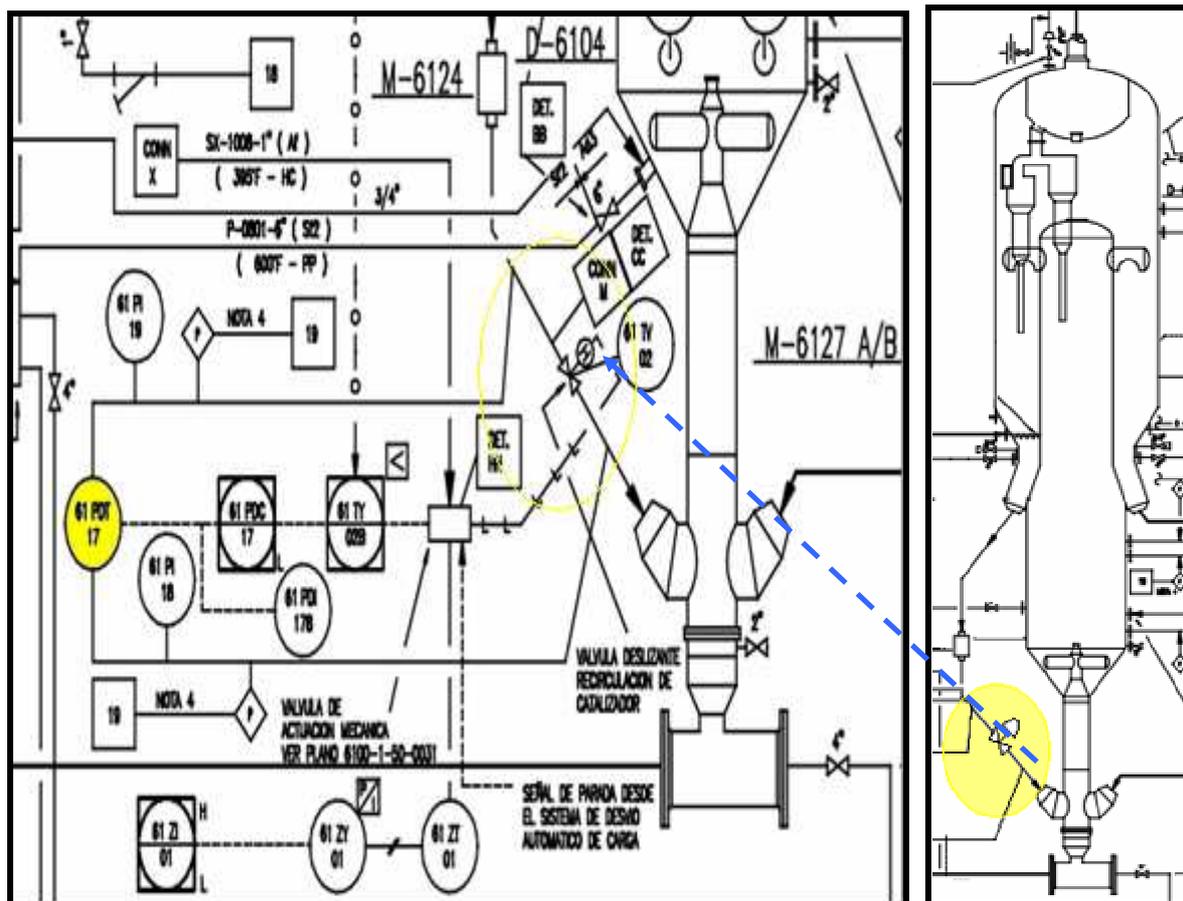


Figura 4.15 Esquema de instrumentación del transmisor 61-PDT-17. Fuente propia



Tabla 4.17 Resultado de la ponderación del análisis de criticidad.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE CRITICIDAD					
UNIDAD DE FCC - SECCON REACCIÓN - EQUIPO :REGENERADOR D-6103/04					
INSTRUMENTO TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESION TAG: 61-PDT-17					
Personal entrevistado	Flexib Op. (FO)	Nivel de Sever (NS)	Impacto Repar (IPR)	Impact SHA (ISHA)	Nivel Ocurr (NO) Frecuencia
Ing. de Proceso	4	7	2	5	2
Ing. de Riesgo.	4	7	2	5	2
Ing. de Automatización	4	7	2	5	2
Sup. Instrumentación	2	7	0	4	3
RESULTADOS PROMEDIOS	3,5	7	1,5	4,75	2,25

Fuente propia

Según se observa en la tabla 4.17, se realizó un promedio de los puntajes correspondientes a cada criterio evaluado. Los mismos fueron sustituidos en la fórmula de consecuencia para obtener la criticidad final, ecuaciones 2.5 y 2.6, respectivamente presentadas en el capítulo II sección 2.4.1.

- FO = 4 ; No existe opción de capacidad de producción
- NS = 7 ; Fallas que provocan daños a los equipos, afecta las operaciones.
- IPR = 2 ; Costo igual o mayor a \$ 20.000.
- ISHA= 5 ; Afecta las instalaciones causando daños severos
- NO = 2 ; Entre 0,5 y 1 ocurrencias por año.

- **Consecuencia** = (NS x FO) + IPR + ISHA = **35** (2.5)
- **Frecuencia** = NO = **2**
- **Criticidad** (61-PDT-17) = [(NS x FO) + IPR + ISHA] x NO = **70** (2.6)



Con los resultados obtenidos se ubica en la matriz de la figura 4.16, el valor de frecuencia en el eje “Y” y el valor de consecuencias en el eje “X”, permitiendo jerarquizar el instrumentos 61-PDT-17 como crítico.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	BC	BC	MC	C	C
	1	BC	BC	MC	MC	C
		0 -10	10 -20	20 -30	30 -40	40 -50
		CONSECUENCIA				

Figura 4.16 Matriz de criticidad del instrumento 61-PDT-17. Fuente Propia

Este procedimiento se realizó para cada instrumento de la tabla 4.14, en el apéndice B (tablas B.1 a la B.5), se aprecian los resultados obtenidos. La figura B.2 y B.5, muestra los resultados generales a través de unas gráficas de columnas agrupadas donde se pueden observar que equipos poseen una criticidad alta (color rojo), criticidad media (color amarillo) y cuales poseen una criticidad baja (color verde).

Este análisis permite una jerarquización válida de todos los instrumentos, obteniendo los siguientes beneficios:

- Utilización óptima de los recursos humanos y económicos dirigidos hacia sistemas claves de alto impacto.
- Potencializar adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, basado en la criticidad de sus procesos y sistemas.



- Jerarquizar los instrumentos de criticidad alta, para luego realizar un AMEF en cada equipo.
- Diseñar políticas de mantenimiento que permitan mejorar todos los niveles de producción dentro de la empresa.

4.4 CUARTA FASE. Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF) en Instrumentación.

En esta fase se desarrolla el AMEF a la instrumentación de los equipos críticos obtenidos en el capítulo anterior, adicionalmente se desarrolló la definición de las funciones del instrumento, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos asociados a estas.

El objetivo es presentar una estandarización en los procedimientos para elaborar un AMEF de la instrumentación y ofrecer al Departamento de Automatización, la información cuantitativa y cualitativa para ser utilizada en el análisis de riesgo, confiabilidad, disponibilidad. Además se desea establecer estrategias de mantenimiento así como un sistema rápido de análisis de falla sencilla que permita tener un mayor conocimiento tanto del proceso como de sus componentes.

4.4.1 Definición de los límites del sistema.

El estándar ISO 14224 da las pautas para generar una base de datos comunes, en el ámbito internacional, relativo a confiabilidad. Uno de los pasos para generar esa base de datos es definir al componente y sus límites de frontera. El procedimiento consta en identificar a cada uno de los componentes del elemento a analizar, su ventaja es que se estructura el AMEF por elemento principal, con funciones primarias y secundarias.

A continuación se realiza la identificación y definición de los sub-componentes de los lazos de instrumentación:



- **Transmisor.**

La definición del límite o frontera que se indica en la figura 4.17, comprende el elemento sensor y la electrónica local para la conversión y transmisión de la señal, el elemento sensor mide algunos parámetros del proceso (presión, temperatura, nivel, flujo, etc.) y convierte la medición en una señal estándar que es transmitida a un computador, controlador o PLC. En la tabla 4.18 se observa su clasificación taxonómica.

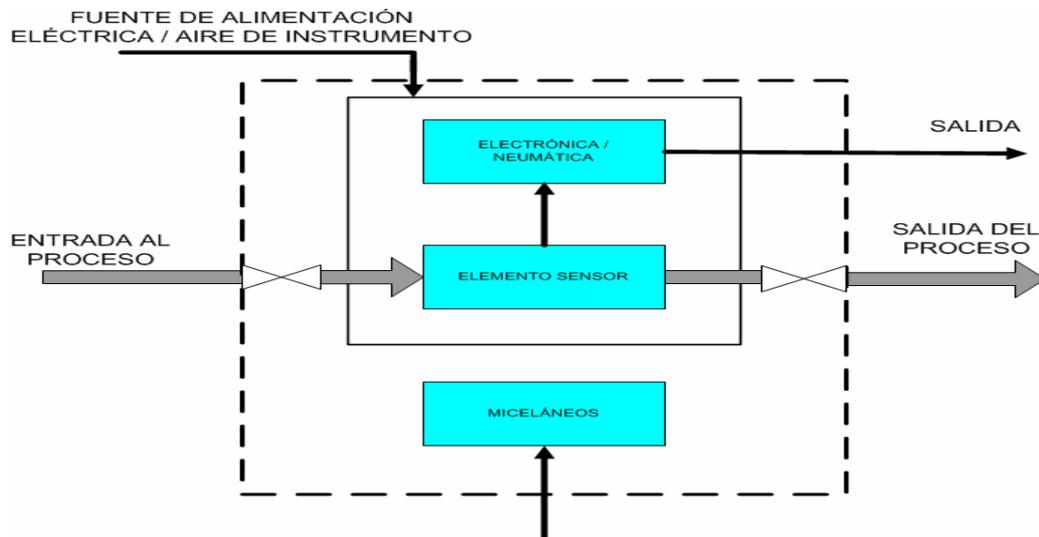


Figura 4.17 Límite de baterías (Boundary) – sensores de proceso. Fuente propia.

Tabla 4.18. Clasificación taxonómica sensores de proceso

Sub-componente	Código	Tipo	Código
Sensores de Proceso	PS	Llama	BS
		Desplazamiento/Posición	DI
		Densidad	DS
		Flujo	FS
		Nivel	LS
		Presión	PS
		Velocidad	SP
		Temperatura	TS
		Vibración	SV
		Peso	WS

Fuente propia.



- **Convertidores.**

En la figura 4.18 se observa la delimitación del convertidor el cual recibe una señal de entrada estandarizada y la convierte a una señal de salida modificada, comprende el sensor y la electrónica local para la conversión y transmisión de la señal. La clasificación taxonómica para este instrumento se aprecia en la tabla 4.19.

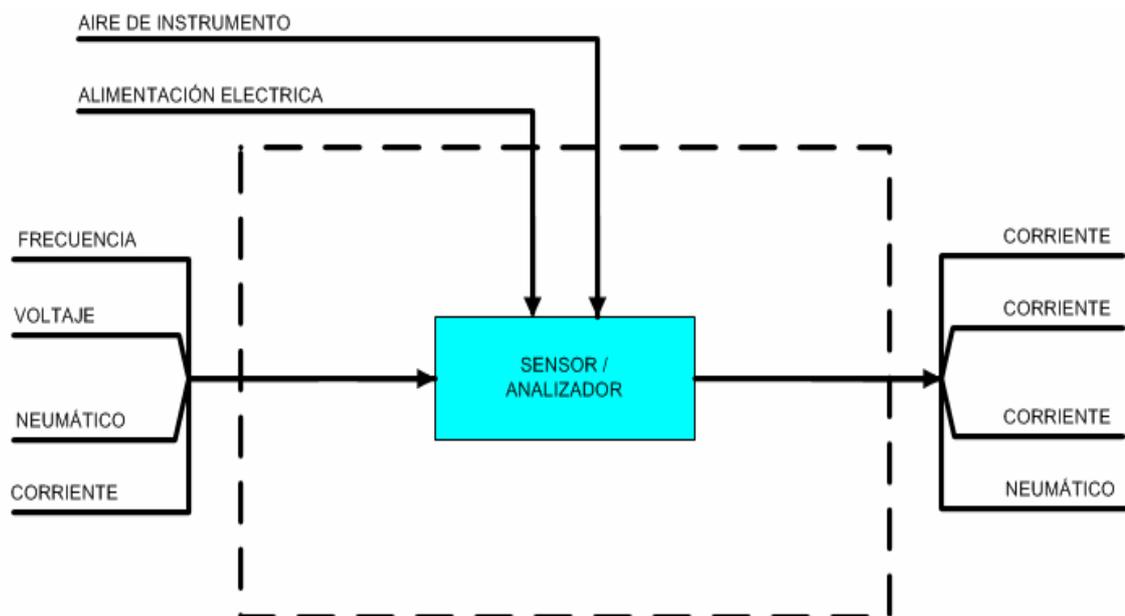


Figura 4.18 Límite de baterías (Boundary) – convertidores. Fuente propia.

Tabla 4.19. Clasificación taxonómica - convertidores

Sub-componente	Código	Tipo	Código
Convertidor	CO	Voltaje-Corriente	EI
		Frecuencia-Corriente	FI
		Corriente-Neumático	IP
		Neumático-Corriente	PI

Fuente propia



- **Unidad de control.**

La unidad de control, esta conformado por los distintos periféricos el cual pueden representar un sistema de control distribuido, controlador lógico programable o un computador (ver figura 4.19). Este conjunto de bloques está clasificado de acuerdo a la tabla 4.20.

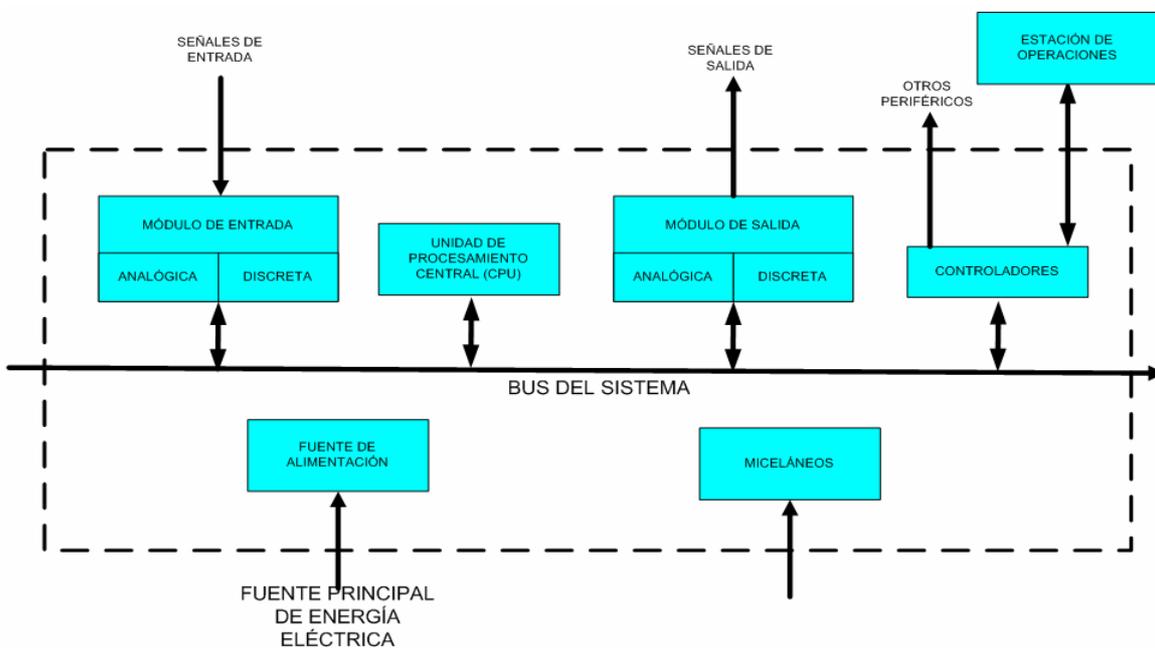


Figura 4.19 Limite de baterías (Boundary) – unidad lógica de control. Fuente propia.

Tabla 4.20. Clasificación taxonómica – unidad lógica de control

Sub-componente	Código	Tipo	Código
Unidad Lógica de Control	CL	Sistema de Control Distribuido	DC
		Controlador Lógico Programable	LC
		Computador	PC
		Remota	RE
		Rele	RL
		Controlador de Lazo Sencillo	SL
		Estado Sólido	SS

Fuente propia.



- **Válvulas de control.**

En el control automático de los procesos industriales, la válvula de control juega un papel muy importante en el bucle de regulación. El límite o fronteras que se indica en la figura 4.20, comprende el cuerpo de la válvula, un bloque que representa el actuador y otro el monitoreo y control. Se puede apreciar en la tabla 4.21 y 4.22, la clasificación taxonómica de las válvulas y actuador respectivamente.

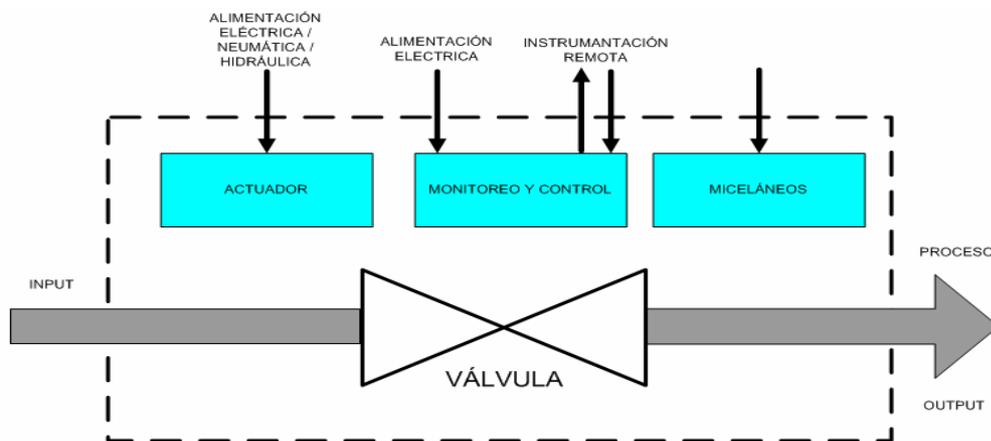


Figura 4.20 Límite de baterías (Boundary) – válvulas. Fuente propia.

Tabla 4.21. Clasificación taxonómica – válvulas

Sub-componente	Código	Tipo	Código
Válvula	VA	Bola	BA
		Mariposa	BP
		Check	CH
		Diafragma	DI
		Disco Excéntrico	ED
		Flaper	FL
		Compuerta	GA
		Globo	GL
		Orificio Múltiple	MU
		Aguja	NE
		Tapón	PG
		Autorreguladora	SA
		Slide	SL
		Solenoides	SO
3 vías	WA		

Fuente propia



Tabla 4.22. Clasificación taxonómica – actuadores en válvulas

Sub-componente	Código	Tipo	Código
Actuador	AC	Diafragma	DI
		Electro-hidráulico	EH
		Motor Eléctrico	EM
		Hidráulico	HI
		Pistón	PI
		Solenoide	SO
		Resorte	SP

Fuente propia.

4.4.2 Clasificación de los modos de falla:

El siguiente esquema mostrado en la figura 4.21, representa un lazo de control conformado por los distintos sub.-componentes, el mismo tiene la finalidad de relacionar e identificar los diferentes modos de falla que son expresados en las tablas 4.23 y 4.24, de acuerdo al estándar ISO-14224.

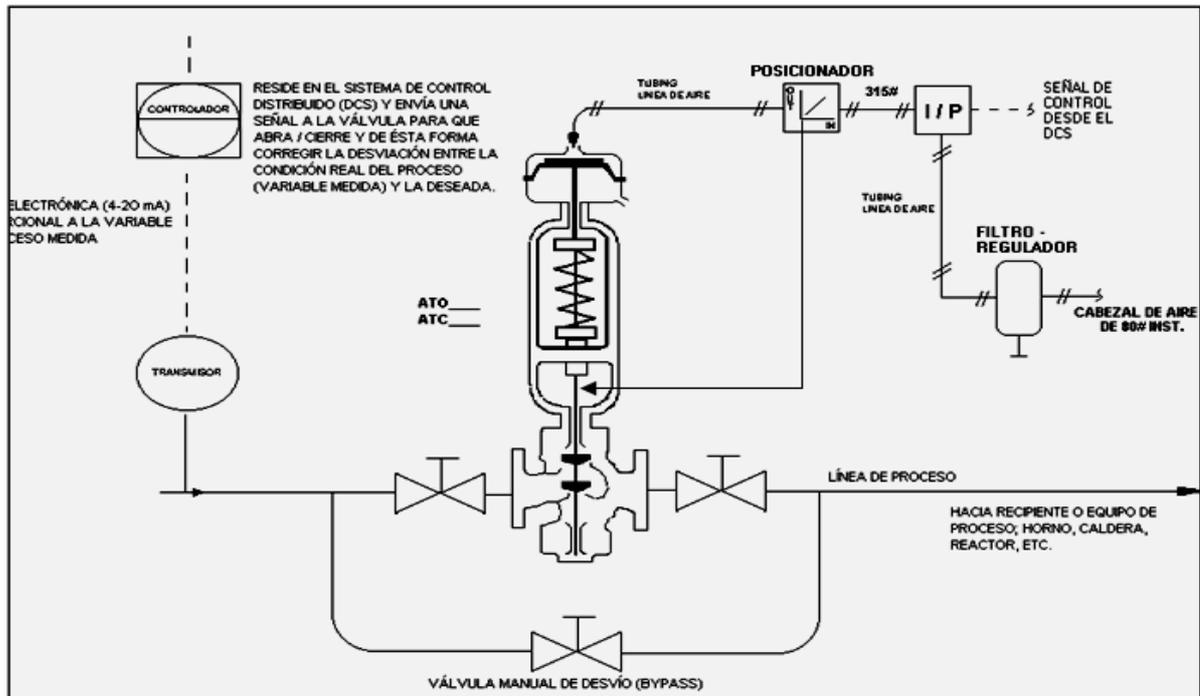


Figura 4.21 Representación de un lazo de control para el análisis de los modos de fallos. Fuente propia.



Tabla 4.23. Modos de fallas codificación ISO-14224

COD	SENSORES DE PROCESO	COD	VÁLVULA
FTF	Sin Salida / Señal	FTC	Atascada para abrir
	Comunicación Interrumpida	FTO	Atascada para cerrar
	Falla Energía	FTR	Inestable
	Señal Congelada	OWD	Disparo / Operación sin requerirse
	Respuesta Lenta	DOP	Respuesta Lenta
	No Acciona / Opera	HIO	Salida alta
OWD	Disparo / Opera sin Requerirse	LOO	Salida Baja
	Sistema en Alarma	ELP	Fuga fluido de proceso
AOL	Indicación a Mínima Salida	ELU	Fuga fluido de servicio
AOH	Indicación a Máxima Salida	INL	Fuga interna
ERO	Indicación Dudosa / Errática	LCP	No Sella / Pasa
SER	Problema Menor	PLU	Obstruida
	Bajo Desempeño	STD	Deficiencia Estructural
	Condición Anormal / Deterioro	AIR	Diferencia de lectura con campo
	Fuga	AER	Problemas menores en servicio
OTH	Otros	OTH	Otros
UNK	Desconocido	UNK	Desconocido

Fuente propia.

Tabla 4.24. Modos de fallas codificación ISO-14224

Nº	COD	UNIDAD LÓGICA DE CONTROL	COD	CONVERTIDORES
1	FTF	Sin Salida / Señal	FTF	Sin Salida / Señal
2		Comunicación Interrumpida		Comunicación Interrumpida
3		Falla Energía		Falla Energía
4		Señal Congelada		Señal Congelada
5		Respuesta Lenta		Respuesta Lenta
6		No Acciona / Opera		No Acciona / Opera
7		No Controla		OWD	Disparo / Opera sin Requerirse
8	Estacion Congelada	Sistema en Alarma		
9	OWD	Disparo / Opera sin Requerirse	AOL	Indicación a Mínima Salida
10		Sistema en Alarma	AOH	Indicación a Máxima Salida
11	AOL	Indicación a Mínima Salida	ERO	Indicación Dudosa / Errática
12	AOH	Indicación a Máxima Salida	SER	Problema Menor
13	ERO	Indicación Dudosa / Errática		Bajo Desempeño
14	SER	Problema Menor		Condición Anormal / Deterioro
15		Bajo Desempeño	Fuga	
16		Condición Anormal / Deterioro	OTH	Otros
17	OTH	Otros	UNK	Desconocido
18	UNK	Desconocido		

Fuente propia.



4.4.3 Preparación de la hoja AMEF.

La plantilla AMEF, consta de varias columnas que se explican a continuación:

- **Componente:** Es un campo donde se identifica el instrumento.
- **Descripción de la función:** Es un campo donde se describe brevemente la función asociada a la clase previamente definida.
- **Falla funcional:** Describe la falla asociada a la función que se está analizando.
- **Modo de fallas:** Es la forma como la experiencia ha demostrado como se revela la falla.
- **Causas:** Se lista las posibles causas asociadas a la falla analizada.
- **Acción de mantenimiento:** Se listan las posibles acciones de mantenimiento ante una causa particular de la falla.

En esta hoja AMEF, solo se muestran las fallas de origen técnico del componente, es decir no se contemplan las relacionadas a causas debido a medio ambiente, técnica de fabricación, procedimiento y prácticas de instalación. Igualmente se asume que se ha verificado que el componente está acorde a las especificaciones que fue diseñado.

En el apéndice C, se muestran las hojas AMEF, donde se define la data mínima requerida para hacer una evaluación posterior del componente en función de la confiabilidad. Para efectos de la elaboración de la metodología se realizaron las plantillas de algunos instrumentos o sub-componentes a modo de orientación ya que el desarrollo y elaboración de todas las plantillas no son alcance de este proyecto.

Estas plantillas AMEF, son de gran importancia ya que el objetivo, es la de facilitar y guiar al grupo de trabajo en la información a ser tomada en cuenta, y de llenar la información particular correspondiente. Las mismas permitirán establecer un sistema de calidad para el registro y almacenamiento de la información como base para el análisis y seguimiento de fallas de cada instrumento.



4.5 QUINTA FASE. Indicadores de Mantenimiento.

Los indicadores son elementos fundamentales que suministran información para el monitoreo y control del desempeño de la gestión de mantenimiento, permiten a las organizaciones, identificar diversos síntomas y establecer condiciones. La forma, en que se puede verificar si la gestión está cumpliendo con sus objetivos es evaluando los resultados obtenidos de los tres indicadores básicos los cuales son:

- Confiabilidad $R(t)$.
- Mantenibilidad $M(t)$.
- Disponibilidad $D(t)$.

Además, el concepto de seguridad está íntimamente ligado a la confiabilidad ya que cuanto más confiable es un sistema (lo cual depende de sus componentes), más seguro es, por lo tanto una planta confiable significa menos reparaciones y menos tiempo perdido disminuyendo de esta forma los costos operativos y aumentando la productividad.

Para aplicar un modelo estadístico de la fiabilidad es necesario utilizar algún tipo de distribución (Poisson, Weibull, Exponencial, Normal entre otros). Según la curva de la bañera para el caso en estudio, se considera que los componentes no están en la etapa de fallos infantiles, si no que están en la segunda etapa normal de operación o de fallos constante que es característico de los equipos electrónicos, lo cual obedece a la ley de falla exponencial o distribución exponencial, que es la más utilizada en los estudios de fiabilidad.

Otro punto importante que se consideró en el desarrollo de esta fase es que el análisis se orientó hacia las bases de datos genéricos, debido a que el número de fallas en la base de datos de la planta es muy bajo (data de poco tiempo como para suministrar estadística de falla razonablemente precisa). Dentro de las bases de datos que se consultó tenemos a la Military Standard (MIL STD), la “United Kingdom Atomic Energy Authority” (UKAEA) y “Offshore Reliability Data” (OREDA), ésta última, contiene información exclusiva de las operaciones de producción y explotación de la industria de gas y petróleo y el aporte de la base de datos de más de veinte años, provienen de fuentes como CHEVRON, EXXON, STATOIL, SHELL,



TEXACO, entre otras. Este estudio tiene un aporte significativo en la orientación de cómo están los activos de la refinería en su ciclo de vida y trazar como base un patrón, con el fin de darle continuidad a los futuros análisis probabilísticos de fallos en los procesos, equipos e instrumentos que realice el Departamento de Automatización. En los siguientes ítems presentamos el desarrollo y análisis para la obtención de los indicadores de mantenimiento.

4.5.1 Base de datos y rata de falla $\lambda(t)$:

Para poder sustentar el estudio probabilístico de fallas, se solicitó al fabricante y se consultó la opinión de expertos, respecto a la información de la tasa de fallos (base de datos patrón) de cada uno de los equipos en estudio, lo cual se aprecia en el anexo C, de las tablas C.1 a la C.3. Además el Departamento de mantenimiento de Automatización y Control suministró datos de fallas de los HPM y los equipos de instrumentación (base de datos de planta). A continuación se observa en la tabla 4.25, un resumen de los datos aportados.

Tabla 4.25. Base de datos de fallos de planta RELP.

Equipo / Instrumento	Distrib. Exponencial		Tiempo medio entre fallos	
	Fallos / 10 ⁶ horas	Fallos / años	MTBF (horas)	MTBF(años)
HPM	100,45	0,88	9954,5	1,136
Válvula de control	57 - 114	0,5 - 1,0	8760 - 17520	1,0 - 2,0
Transmisor(PDT)	57 - 171,2	0,5 - 1,0	5840 - 17520	0,66 - 2,0
Convertidor	57 - 114,15	0,5 - 1,0	8760 - 17520	1,0 - 2,0

Fuente Departamento de Automatización RELP.

En la tabla 4.26, se observa un resumen de la base de datos patrón del valor promedio y límites de la tasa de fallas y el tiempo medio para reparar (MTTR), están expresadas en “por 10⁶h” y “horas” respectivamente.



Tabla 4.26. Resumen del rango de valores de tasa de fallas (Base de datos patrón).

Failure mode		Failure rate (per 10 ⁶ hours)			Repair (manhours)		
		Lower	Media(μ)	Upper	Min	Media(μ)	Max
TDC-3000 HONEYWELL Base de datos : HONEYWELL UCN 06 HPM							
ERO	Erratic Output						
FTF	Fail to function on demand						
HIO	High output						
LOO	Low output						
SER	Minor in serv problems						
OTH	Other						
SPO	Spurious operations						
All modes		11,41	22,83	38,05	2,00	4,00	24,00
Elemento final de control Base de datos : OREDA Válvula Control de Proceso Diaphragma Tiempo Op: 171.800 (h) Ø (1" a 10")							
Failure mode		Failure rate (per 10 ⁶ hours)			Repair (manhours)		
		Lower	Media(μ)	Upper	Min	Media(μ)	Max
AIR	Abnormal instrument reading						
FTC	Fail to close on demand						
FTO	Fail to open on demand						
FTR	Fail to regulate						
HIO	High output						
INL	Internal leakage						
LOO	Low output						
SER	Minor in service problems						
LCP	Leakage in closed position						
All modes		31,20	114,18	293,09	8,00	16,70	36,00
Process sensor Base de datos : UKAEA / OREDA Transmitter Flow Tiempo Op: 100.000(h) PDT							
Failure mode		Failure rate (per 10 ⁶ hours)			Repair (manhours)		
		Lower	Media(μ)	Upper	Min	Media(μ)	Max
ERO	Erratic Output						
FTF	Fail to function on demand						
HIO	High output						
LOO	Low output						
SER	Minor in serv problems						
OTH	Other						
SPO	Spurious operations						
All modes		57,88	114,15	171,23	1,00	6,40	22,00
Process sensor Base de datos: UKAEA / OREDA Convertidor I / P Tiempo Op: 100.000 (h)							
Failure mode		Failure rate (per 10 ⁶ hours)			Repair (manhours)		
		Lower	Media(μ)	Upper	Min	Media(μ)	Max
ERO	Erratic Output						
FTF	Fail to function on demand						
HIO	High output						
LOO	Low output						
SER	Minor in serv problems						
OTH	Other						
SPO	Spurious operations						
All modes		57,88	85,61	114,15	2,00	5,30	12,00

Fuente Opinión de expertos y fabricantes (OREDA, Honeywell, otros).



4.5.2 Indicadores de Mantenimiento.

4.5.2.1. Confiabilidad:

Para el caso que la tasa de fallos (λ) sea constante, ante una distribución de fallo de tipo exponencial, la confiabilidad tendrá la expresión (2.11) indicada en el capítulo II:

$$R(t) = e^{-(\lambda)*t} \quad (2.11)$$

La fórmula anterior proporcionará la curva de probabilidad de supervivencia del dispositivo para cualquier intervalo de tiempo comprendido dentro del ámbito de la vida útil del mismo.

- **HPM:**

En el apéndice D, de la tabla D.1 se observa como varían los valores de confiabilidad, de acuerdo a la base de datos del fabricante y la base de datos de planta. En la figura 4.22 se aprecian las curvas características de confiabilidad del HPM, las cuales están representadas de color verde- gris (base de datos fabricante) y de color rojo (base de datos de planta). Se puede destacar que la curva de supervivencia de planta está por debajo y fuera de los límites del rango de la base de datos del fabricante. De hecho, al ubicar el 36,8% de confiabilidad se aprecia que el tiempo promedio para la falla MTBF es de 1,15 años y según el patrón debería ser como mínimo 3 años, este resultado indica que el HPM tiene una frecuencia de falla mayor, por lo tanto su confiabilidad está fuera de especificación.

El análisis de este indicador está bastante ajustado a la realidad, debido a que la tecnología de los controladores básicos de los HPM, se está acercando a la finalización del ciclo de vida útil, fallando en algunos casos hasta dos veces en un mismo año. Por lo que el índice de falla del mismo se ha incrementado.

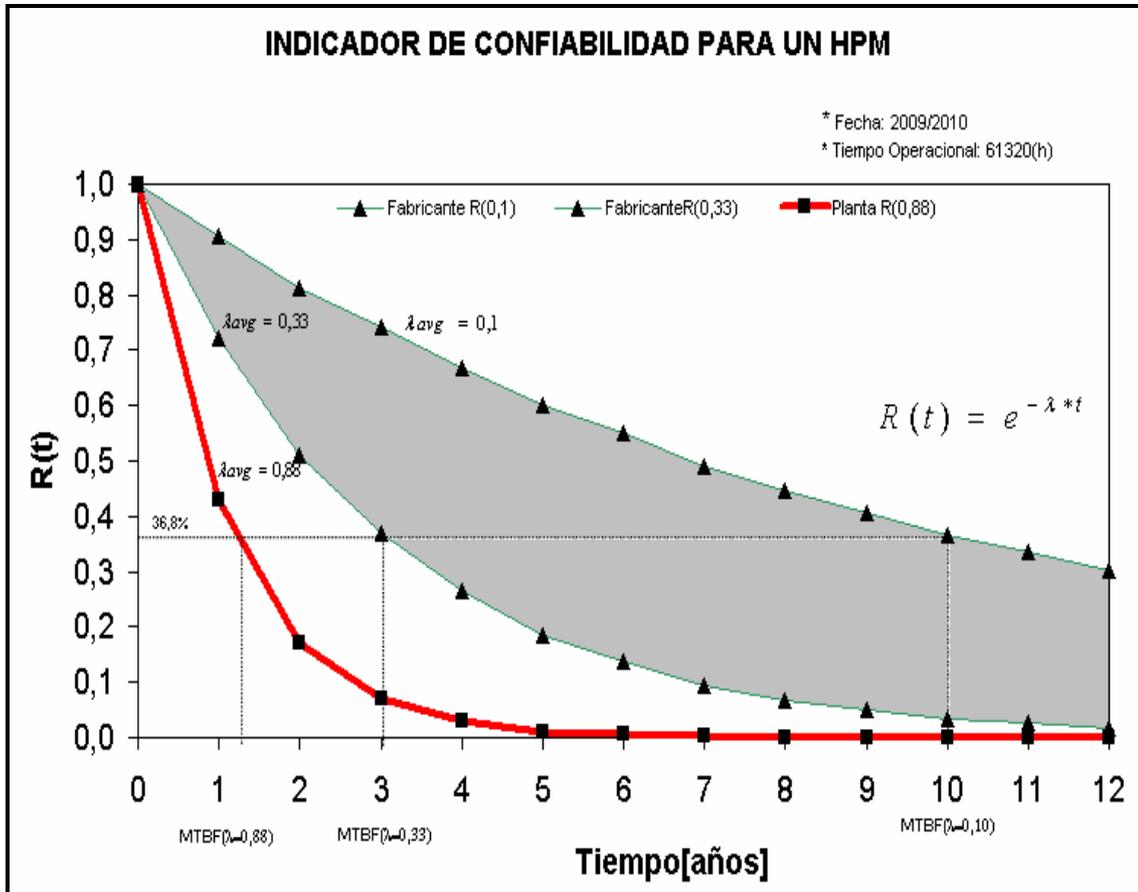


Figura 4.22. Curva de datos de planta vs. datos del fabricante. Fuente propia.

- **Válvulas de control:**

En la figura 4.23, se aprecia las curvas características de supervivencia de un grupo de válvulas de control estudiadas en la fase tres, las cuales están representadas por las curvas de color verde-gris (base de datos patrón) y la línea gruesa de color rojo (base de datos de planta). La información suministrada por la figura, destaca que la curva de supervivencia de planta está dentro del rango de la base de datos patrón. Se observa que al ubicar el 36,8% de confiabilidad el valor del MTBF es de 1 a 2 años, indicando que este grupo de válvulas tienen una frecuencia de falla típico, por lo tanto su confiabilidad está dentro de especificación. En el apéndice D, tabla D.2, se observa como los valores de confiabilidad varían, de acuerdo a la base de datos patrón (OREDA) y la base de datos de planta.

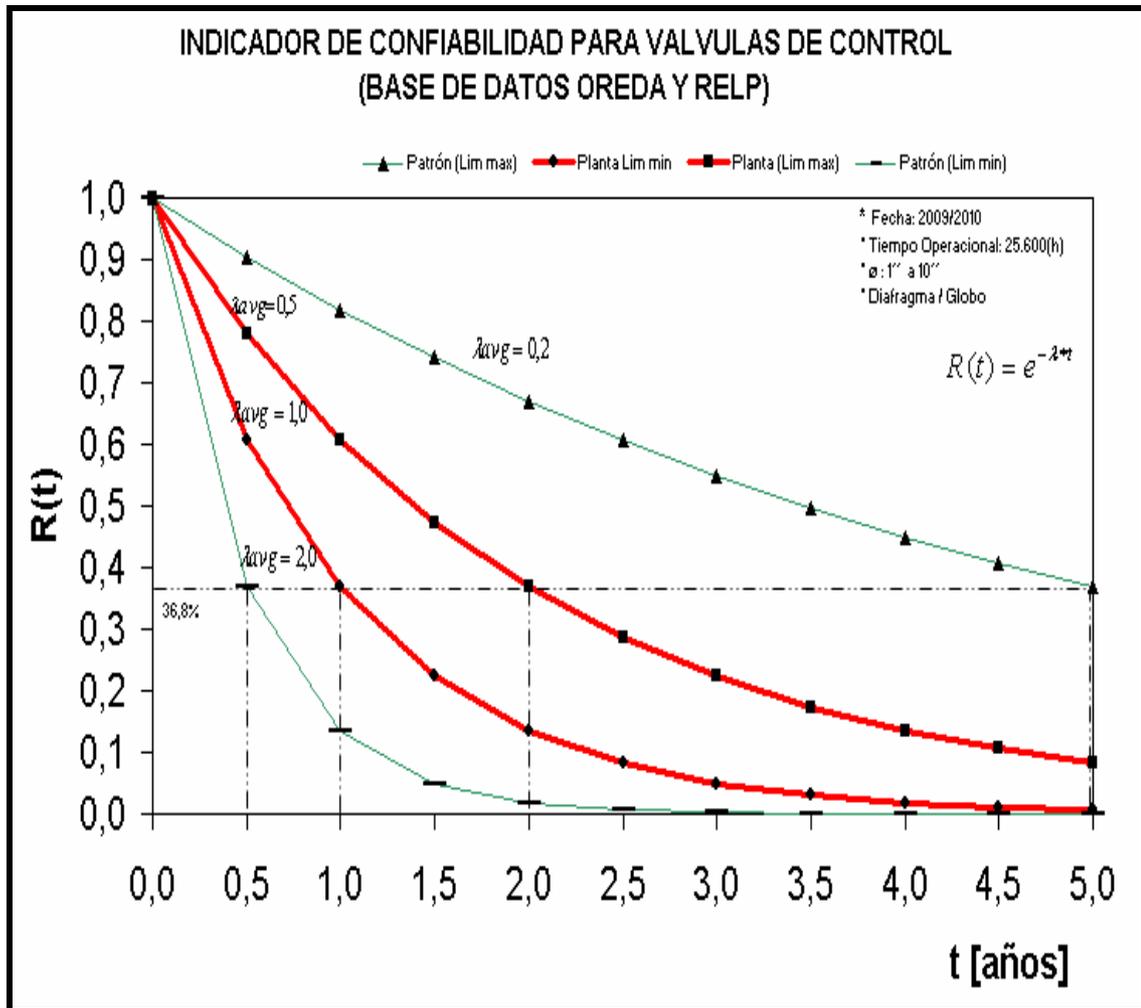


Figura 4.23. Curva entre los datos de planta vs. data del fabricante. Fuente propia.

- **Transmisor de presión diferencial**

En el apéndice D, de la tabla D.3, se observa como varían los valores de confiabilidad, de acuerdo a la base de datos primarios y de planta. Se representa en la figura 4.24, las curvas características de fiabilidad de un grupo de transmisores de presión diferencial, las cuales están representadas por las curvas de color verde- gris (base de datos patrón) y de líneas gruesas color rojo (base de datos de planta), se destaca que la curva de supervivencia de planta está dentro del rango de la base de datos patrón, ya que al ubicar el 36,8% de confiabilidad se obtiene el tiempo promedio para la falla de 1,0 años.

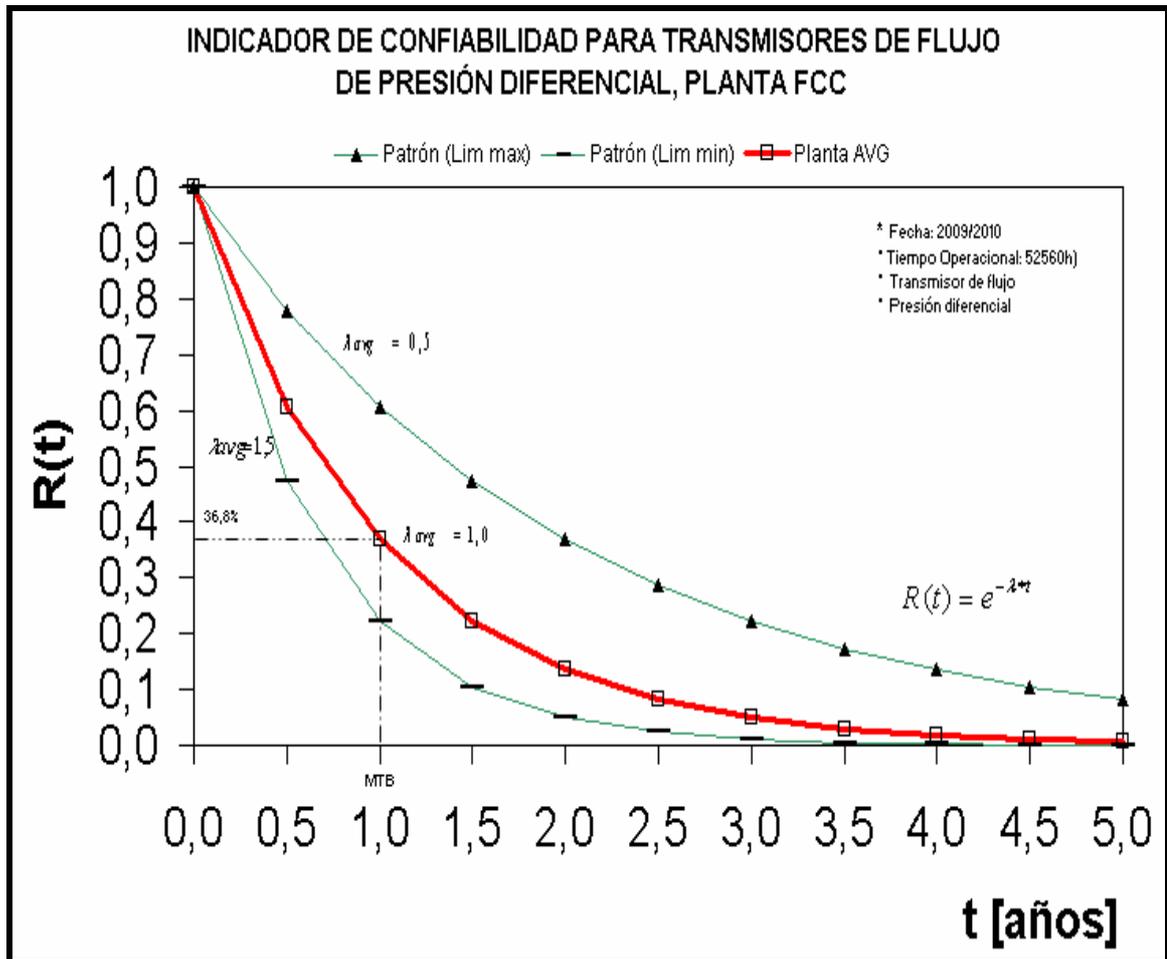


Figura 4.24. Datos de planta vs. datos del fabricante. Fuente propia.

- **Convertidor:**

En la figura 4.25, se muestran las curvas características de supervivencia de un grupo de convertidores (FY), que están representados de color verde- gris la base de datos patrón y con la línea gruesa de color rojo la de datos de planta. Se destaca que la curva de supervivencia de planta está dentro del rango de la base de datos patrón, al ubicar el MTBF en 1.3 años ante una confiabilidad del 36.8%. En el apéndice D la tabla D.4, se observan los valores de confiabilidad de acuerdo a la base de datos primarios consolidados y la base de datos de planta.

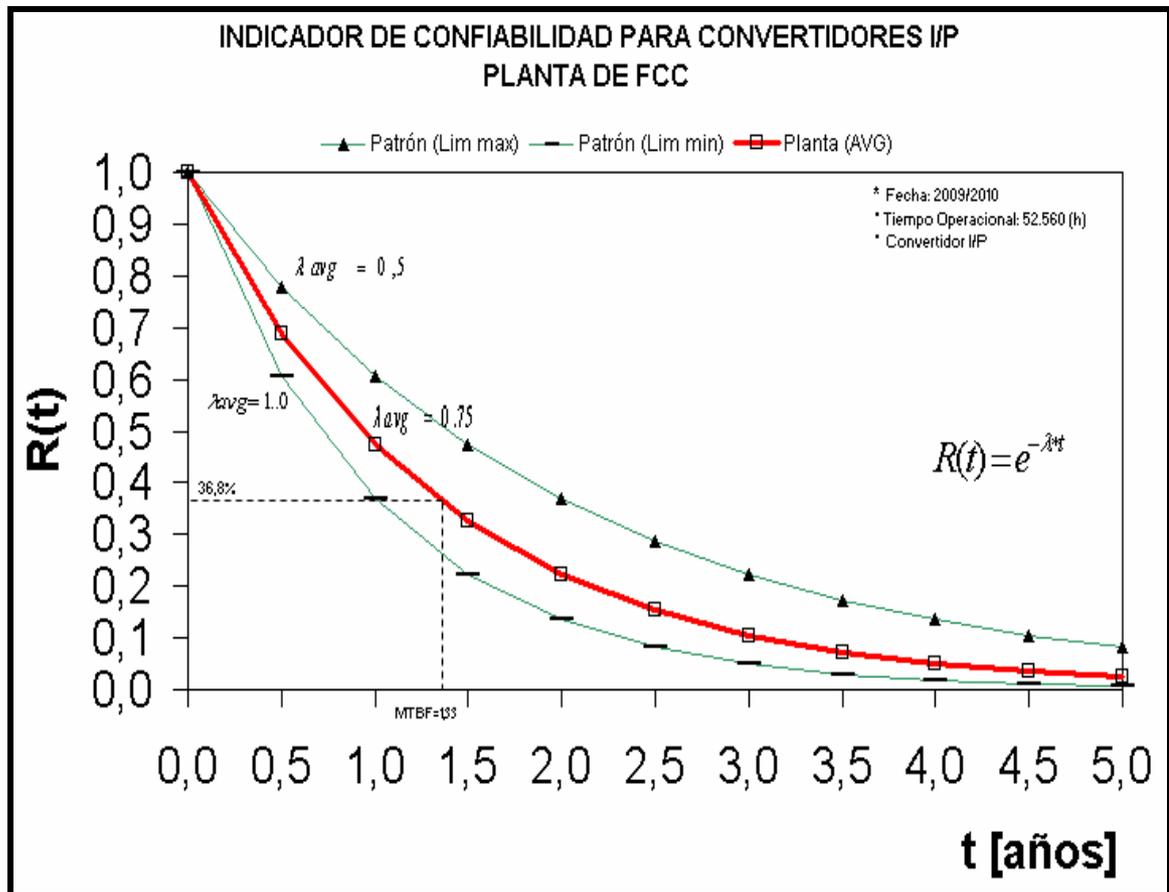


Figura 4.25. Datos de planta vs. data del fabricante. Fuente propia.

4.5.2.2 **Mantenibilidad:**

La función mantenibilidad $M(t)$, se describió en el capítulo II sección 2.4, esta indica la probabilidad de que la funcionabilidad del equipo sea recuperada a lo largo de un período de tiempo empleado en el mantenimiento. La expresión matemática se representó como la ecuación (2.13) mostrada a continuación:

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}} \quad (2.13)$$

El tiempo medio para la reparación (MTTR), son valores numéricos tomados de las bases de datos patrón, con el objetivo de modelar la curva mantenibilidad específico de cada equipo. Los valores obtenidos quedan como referencia para futuros análisis y comparaciones.



- **HPM**

En la figura 4.26, se observa la curva característica de la función mantenibilidad para un HPM, el cual aporta los siguientes aspectos:

- El tiempo promedio para recuperar el HPM, 1 MTTR= 4(h).
- El tiempo máximo de reparación, $TTR(90\%) = 9.2$ (h).
- El tiempo de recuperación en el que se han completado el 10% de las tareas de mantenimiento es de $TTR(10\%) = 0.5$ (h).

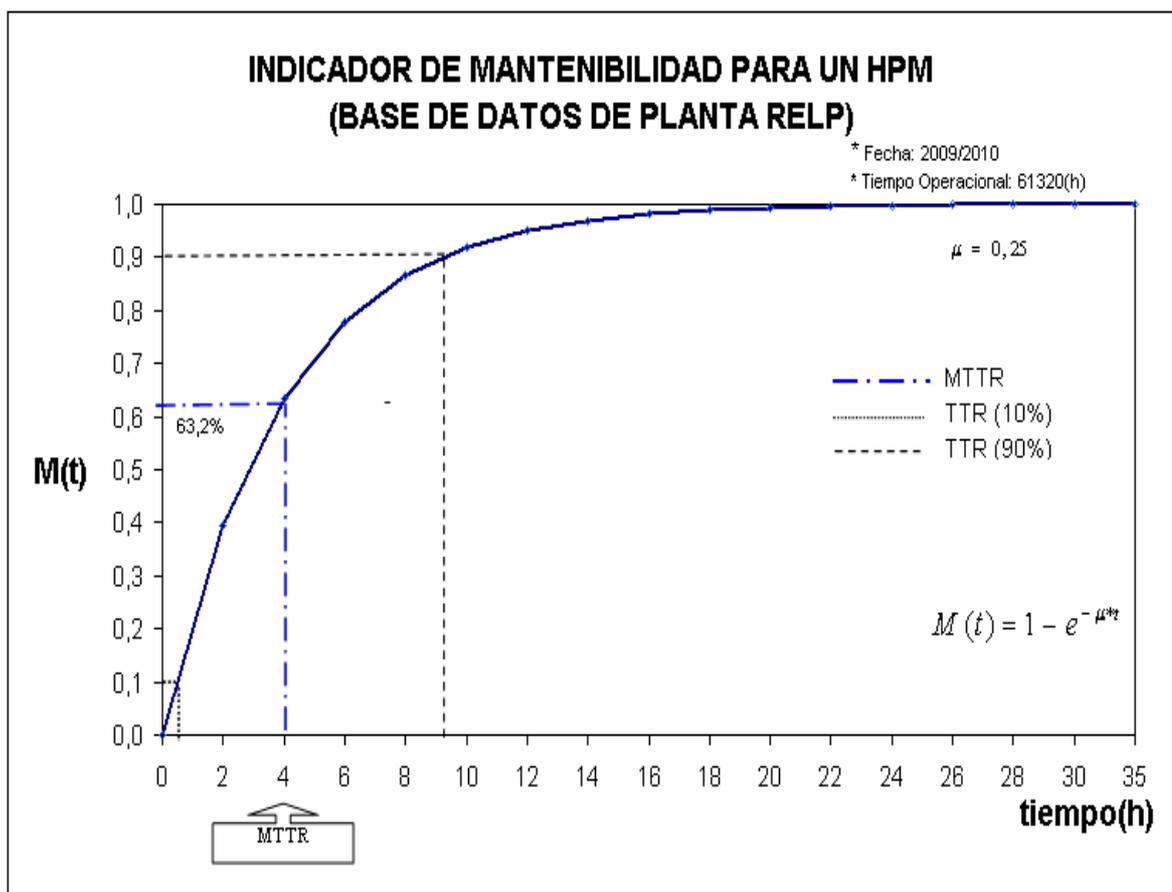


Figura 4.26. Mantenibilidad vs. Tiempo (HPM) Fuente propia.

En el apéndice D, de la tabla D.5, se observan los valores de mantenibilidad de acuerdo a la base de datos primarios (patrón).



- **Válvula de control**

Como datos y tendencias se aprecia en el apéndice D, la tabla D.6, la tasa de reparación y la función mantenibilidad característica para este equipo en particular. En la figura 4.27, se presenta la curva característica de mantenibilidad, la cual arrojó los siguientes resultados:

- El tiempo promedio para recuperar es : MTTR= 16.7 (h).
- El tiempo máximo de reparación es: TTR(90%)= 40(h).
- El tiempo de recuperación para el 10% es: TTR (10%) = 1,75(h).

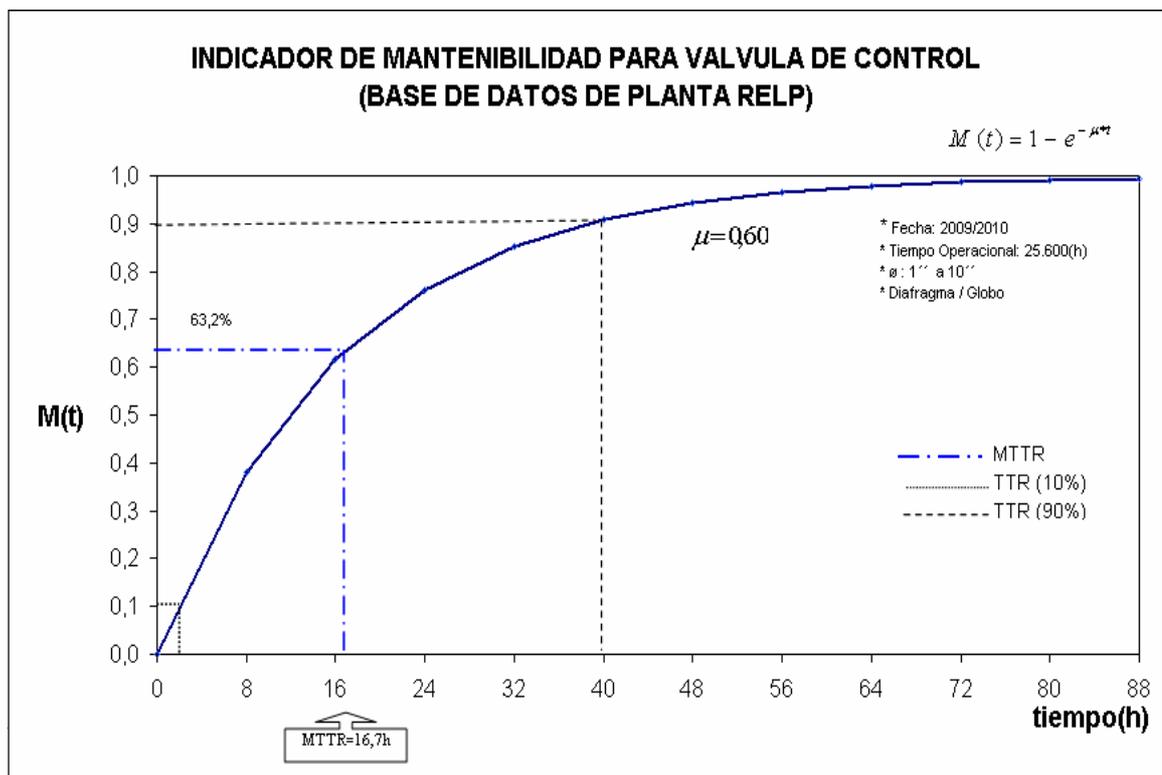


Figura 4.27. Mantenibilidad vs. tiempo para válvulas de control. Fuente propia.

- **Transmisor (PDT):**

La mantenibilidad de un transmisor (PDT), se representa en el apéndice D, la tabla D.7, donde se observa la tasa de reparación y la función característica. En la figura 4.28, se aprecia la curva, para un grupo de transmisores (PDT), donde se obtuvieron los siguientes datos:



- El tiempo promedio para recuperar el activo es: $MTTR = 6,4(h)$.
- El tiempo máximo de reparación: $TTR(90\%) = 16(h)$.
- El tiempo de recuperación donde se han completado el 10% es: $TTR(10\%) = 0,70(h)$.

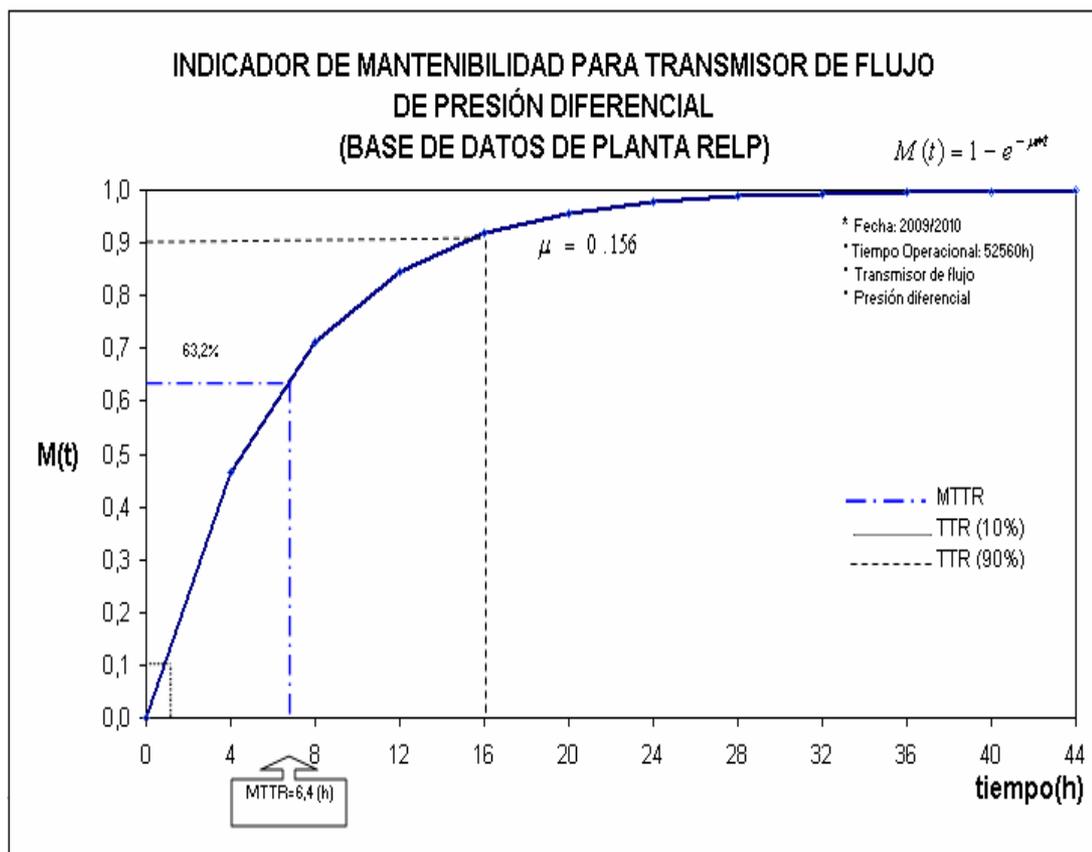


Figura 4.28. Mantenedibilidad vs. tiempo para transmisores PDT. Fuente propia.

- **Convertidor:**

Se aprecia en el apéndice D, de la tabla D.8, los datos de la tasa de reparación y la mantenedibilidad característica para el convertidor. En la figura 4.29, se observa la curva, para un grupo de transmisores (PDT), del análisis de la misma aportó los siguientes datos:



- El tiempo promedio para recuperar el activo es: $MTTR= 5,3(h)$.
- El tiempo máximo de reparación es: $TTR(90\%)= 12,20(h)$.
- El tiempo de recuperación en el que se han completado el 10% de las tareas de mantenimiento es de $TTR(10\%) = 0,55(h)$.

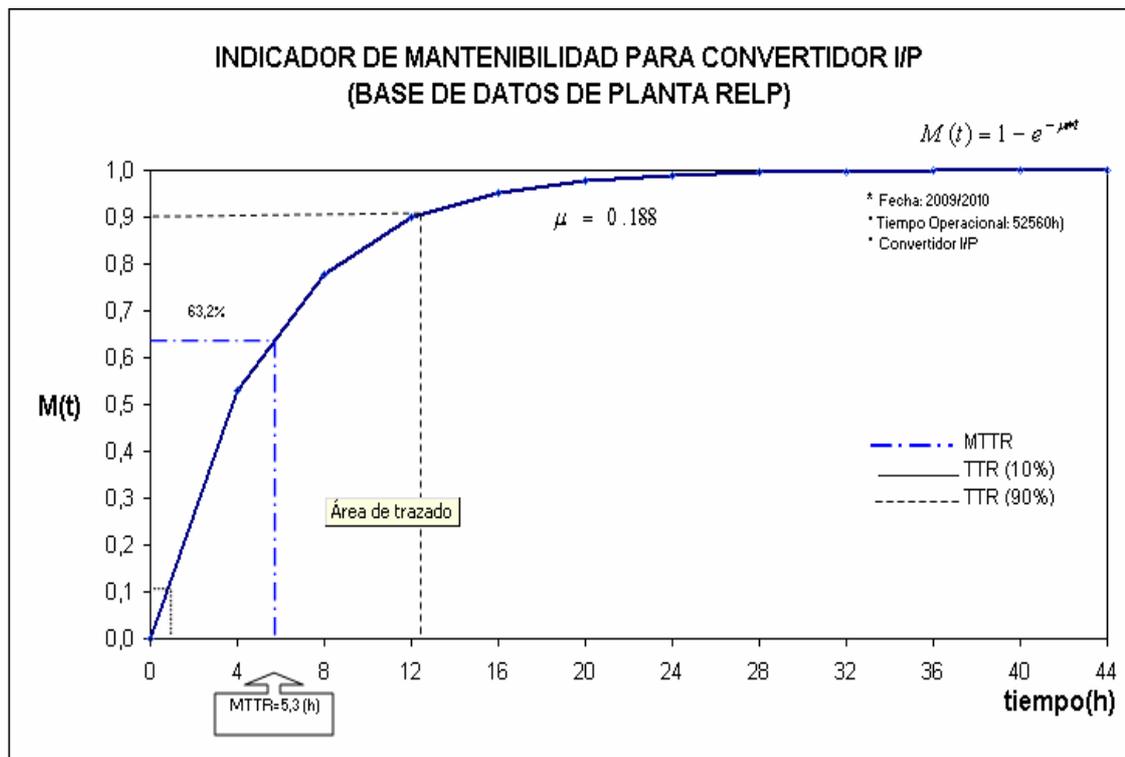


Figura 4.29. Curva de mantenibilidad vs. tiempo para convertidores I/P. Fuente propia.

4.5.2.3 Disponibilidad:

Ésta función permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir su función de operabilidad. La disponibilidad en régimen permanente depende de los tiempos MTTR y MTTF. La ecuación característica de la disponibilidad para régimen permanente se expresa según la ecuación 2.14, presentada en el capítulo II:



(2.14)

$$D(\infty) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$$

A continuación se presenta la tabla 4.27, un resumen de los datos obtenidos al aplicar la fórmula para régimen permanente del indicador disponibilidad según el MTBF y MTTR, de cada equipo estudiado (HPM, válvula de control, transmisor y convertidor):

Tabla 4.27. Resultados de los valores de disponibilidad para cada equipo.

Equipo/ Instrumento	Tiempo medio para la falla	Tiempo medio para la reparación	Disponibilidad	Obj $\geq 99,90$
	MTBF(h)	MTTR(h)	D(∞)%	Observación
HPM	9954	4	99,96	Óptima
Válvula de control	8760	16,7	99,8	Buena
Transmisor(PDT)	8760	6,4	99,92	Óptima
Convertidor	5840	5,3	99,91	Óptima

Fuente propia.

Se observa en el apéndice D, las tablas D.9 a la D.12, el valor de disponibilidad modelado a distintas frecuencias.

4.5.3 Resumen de los indicadores y datos obtenidos:

Para obtener una información más compacta de los indicadores de mantenimiento, se aprecia en las tablas 4.28 a la 4.31, los valores obtenidos de cada indicador referenciado a la planta y a la base de datos patrón. La columna representada por la desviación, resalta los resultados en rojo como valores desfavorables o fuera de rango.



Tabla 4.28. Resumen de los indicadores obtenidos para un HPM.

Indicador	Rango-Patron	Rango- Planta	Desviación
MTTF(h)	87.642 - 26.281	10.000	-16.000
MTTR(h)	2,0 - 12,0	4	Optimo
λ (fallos/año)	0,10 - 0,30	0,88	-0,55
μ (operac/h)	0,083 - 0,50	0,25	Optimo
R(1año)%	90,5 - 72,0	43	-30
M(4h)%	10,0 - 95,0	63,2	Optimo
D(∞)%	0,9999 - 0,9900	0,9996	Optimo

Fuente propia.

Tabla 4.29. Resumen de los indicadores obtenidos para una válvula de control

Indicador	Rango-Patron	Rango- Planta	Desviación
MTTF(h)	4.174 - 32.059	8.760 - 17.520	Optimo
MTTR(h)	5,0 - 36,0	16,7	Optimo
λ (fallos/año)	0,20 - 2,0	0,5 - 1,0	Optimo
μ (operac/h)	0,027 - 0,20	0,06	Optimo
R(1año)%	13,5 - 81,9	36,8 - 60,7	Optimo
M(17h)%	10,0 - 95,0	63,2	Optimo
D(∞)%	0,9000 - 0,9900	0,998	Optimo

Fuente propia.



Tabla 4.30. Resumen de los indicadores obtenidos para un PDT

Indicador	Rango-Patron	Rango- Planta	Desviación
MTTF(h)	5.840 - 17.520	5.840 - 17.520	Optimo
MTTR(h)	1,0 - 22,0	6,4	Optimo
λ (fallos/año)	0,50 - 1,50	0,50 - 1,5	Optimo
μ (operac/h)	0,045 - 1,0	0,16	Optimo
R(1año)%	22,0 - 60,0	36,8	Optimo
M(6,4h)%	10,0 - 95,0	63,2	Optimo
D(∞)%	0,9900 - 0,9999	0,9992	Optimo

Fuente propia.

Tabla 4.31. Resumen de los indicadores obtenidos para un convertidor (I/P)

Indicador	Rango-Patron	Rango- Planta	Desviación
MTTF(h)	5.840 - 8760	5.840 - 8760	Optimo
MTTR(h)	1,0 - 12,0	5,3	Optimo
λ (fallos/año)	0,50 - 1,0	0,50 - 1,0	Optimo
μ (operac/h)	0,083 - 1,0	0,19	Optimo
R(1año)%	36,8 - 60,7	47,2	Optimo
M(5,3h)%	10,0 - 95,0	63,2	Optimo
D(∞)%	0,9900 - 0,9999	0,9995	Optimo

Fuente propia.



4.6 SEXTA FASE. Análisis de Optimización de Costo Riesgo (OCR)

Actualmente, el criterio que se ha utilizado para seleccionar la frecuencia de aplicación de las distintas actividades o planes de mantenimiento ha sido básicamente la data histórica de fallos (tiempo medio operativo). Dichos planes contienen actividades con frecuencia de ejecución que en la mayoría de los casos es muy alta “3 meses” y en consecuencia, plantean un alto volumen de órdenes de trabajo, originando una gran desviación en la información acumulada relativa a la gestión. Adicionalmente no se hace posible la ejecución de todos los planes, produciendo pérdida de oportunidad y recursos.

En años recientes grandes corporaciones especialmente del sector de hidrocarburos, han volcado su atención hacia el modelo de decisión “costo-riesgo” debido a que el mismo permite decidir en escenarios en conflicto, como el escenario “operación-mantenimiento”, en el cual el operador requiere que el equipo o proceso opere en forma continua para garantizar máxima producción, y simultáneamente, el mantenedor requiere que el proceso se detenga con ciertas frecuencias para poder mantener y ganar confiabilidad en el mismo. Este modelo es el indicado para resolver las situaciones antes planteadas dado que permite determinar el nivel óptimo de riesgo y la cantidad adecuada de mantenimiento, para obtener el máximo beneficio o mínimo impacto en el negocio.

4.6.1 Determinación de la frecuencia de inspección de los HPM:

A continuación se presentan los datos de las variables necesarias en la aplicación del modelo “OCR” con el objetivo de obtener una estimación de la frecuencia para los planes de mantenimiento de un HPM:

- **Datos del equipo** (Probabilidad de falla):
 - Valor de λ (Fallos/año): 0.25
 - MTBF (h): 35000



- **Costos asociados a la actividad de mantenimiento planificado:**
 - **Costos de mano de obra (C_{M/O}):** 4 H/H de un Instrumentista a 400(Bs/h)
 - **Costo de materiales / repuestos (C_{MAT}):** Bs. 120.000.
 - **Tiempo de ejecución para el mantenimiento planificado (T_{MP}):**4(h)
- **Consecuencias de la falla en demanda:**
 - **Costos de mano de obra (C_{M/O}):** 8 H/H de un Instrumentista a 400(Bs/h)
 - **Costo de materiales / repuestos (C_{MAT}):** Bs. 120.000.
 - **Costo de penalización por pérdida de oportunidad (parada del activo) (C_{po}):** 70(MMBs/h)
 - **Costo impacto SHA:** El costo asociado de estos impactos es difícil de obtener, pues no se encontró soporte de datos que lo fundamente, en razón de lo antes expuesto este costo no fue considerado en los cálculos del modelo.
 - **Tiempo promedio de reparación(T_{MC}):** 8(h)
- **Resultados:**

El resultado de la estimación de los costos por mantenimiento planificado y correctivo se expresa por las ecuaciones 4.1 y 4.2 respectivamente:

- Costo por mantenimiento planificado:

$$C_{M/O} \times T_{MP} + C_{MAT} = 121.600.000 \text{ Bs.} \quad (4.1)$$

- Costo por mantenimiento correctivo:

$$(C_{M/O} + C_{po}) \times T_{MC} + C_{MAT} = 683.200.000 \text{ Bs.} \quad (4.2)$$

En la tabla 4.32 se aprecia los datos obtenidos de las variables de costo modelado a distintas frecuencias de tiempo. Las columnas están conformadas por las variables tiempo (horas), probabilidad de falla F(t), confiabilidad R(t), costo por mantenimiento planificado, costo debido a fallas (mantenimiento correctivo), seguridad higiene y ambiente, finalmente el



costo resultante o impacto total. Para obtener el estimado del punto óptimo (frecuencia de intervención) en horas, hay que ubicar en la tabla 4.32, el tiempo cuando:

- El costo del impacto total es mínimo (Bs. 510.131.328): 19.834h / 27meses.
- La probabilidad de falla es igual al cincuenta por ciento ($F \approx 50\%$): 24.500h / 34 meses.

Estos valores de tiempo resaltados en amarillo, representan los límites del intervalo teórico para realizar la intervención del equipo y establecer el programa de mantenimiento planificado junto a la opinión de expertos.

Tabla 4.32 Resultados del estudio costo – riesgo para un HPM

Tiempo (h)	Pr. Falla F(t)	Confiab R(t)	Costo (Bs) Mantenimiento	Costo (Bs) Falla + SHA	Costo (Bs) Riesgo total	Costo (Bs) Impacto total
1,00	0,0000	1,0000	4.256.000.000,00	19.519,72	19.519,72	4.256.000.019.519,72
1167,63	0,0328	0,9672	3.644.979.873,82	22.416.210,62	22.416.210,62	3.667.396.084,44
2334,27	0,0645	0,9355	1.823.270.691,72	44.078.671,29	44.078.671,29	1.867.349.363,01
3500,90	0,0952	0,9048	1.215.687.394,67	65.030.971,98	65.030.971,98	1.280.718.366,65
4667,53	0,1248	0,8752	911.830.660,02	85.296.393,85	85.296.393,85	997.127.053,87
5834,17	0,1535	0,8465	729.495.786,32	104.897.454,83	104.897.454,83	834.393.241,14
7000,80	0,1813	0,8187	607.930.522,23	123.855.934,65	123.855.934,65	731.786.456,88
8167,43	0,2081	0,7919	521.093.938,12	142.192.899,04	142.192.899,04	663.286.837,16
9334,07	0,2341	0,7659	455.964.174,24	159.928.723,12	159.928.723,12	615.892.897,37
10500,70	0,2592	0,7408	405.306.312,91	177.083.114,07	177.083.114,07	582.389.426,98
11667,33	0,2835	0,7165	364.779.155,48	193.675.132,99	193.675.132,99	558.454.288,46
12833,97	0,3070	0,6930	331.619.997,97	209.723.216,11	209.723.216,11	541.343.214,08
14000,60	0,3297	0,6703	303.986.971,99	225.245.195,27	225.245.195,27	529.232.167,26
15167,23	0,3517	0,6483	280.604.900,48	240.258.317,72	240.258.317,72	520.863.218,20
16333,87	0,3729	0,6271	260.562.920,39	254.779.265,31	254.779.265,31	515.342.185,70
17500,50	0,3935	0,6065	243.193.051,63	268.824.172,98	268.824.172,98	512.017.224,61
18667,13	0,4134	0,5866	227.994.300,14	282.408.646,75	282.408.646,75	510.402.946,89
19833,77	0,4326	0,5674	214.583.546,91	295.547.781,01	295.547.781,01	510.131.327,93
21000,40	0,4512	0,5488	202.662.806,42	308.256.175,32	308.256.175,32	510.918.981,74
22167,03	0,4692	0,5308	191.996.824,11	320.547.950,61	320.547.950,61	512.544.774,72
23333,67	0,4866	0,5134	182.397.394,32	332.436.764,90	332.436.764,90	514.834.159,22
24500,30	0,5034	0,4966	173.712.158,63	343.935.828,44	343.935.828,44	517.647.967,07
25666,93	0,5197	0,4803	165.816.459,05	355.057.918,44	355.057.918,44	520.874.377,48
26833,57	0,5354	0,4646	158.607.316,46	365.815.393,19	365.815.393,19	524.422.709,65
28000,20	0,5507	0,4493	151.998.914,29	376.220.205,89	376.220.205,89	528.219.120,18
29166,83	0,5654	0,4346	145.919.166,18	386.283.917,84	386.283.917,84	532.203.084,01
30333,47	0,5797	0,4203	140.307.075,57	396.017.711,33	396.017.711,33	536.324.786,91
31500,10	0,5934	0,4066	135.110.682,19	405.432.402,09	405.432.402,09	540.543.084,28
32666,73	0,6068	0,3932	130.285.448,40	414.538.451,24	414.538.451,24	544.823.899,64
33833,37	0,6197	0,3803	125.792.979,51	423.345.976,98	423.345.976,98	549.138.956,49
35000,00	0,6321	0,3679	121.600.000,00	431.864.765,79	431.864.765,79	553.464.765,79

Fuente propia.



En la figura 4.30 se observa los datos de la tabla 4.32 representados en las curvas de costos de mantenimiento, riesgo e impacto total. El intervalo de tiempo óptimo donde genera el impacto total más bajo de los costos asociados a la actividad de mantenimiento, es el indicado en la gráfica como “punto óptimo”.

De acuerdo al fabricante (Honeywell), se recomienda las siguientes frecuencias para mantenimiento de los HPM:

- Inspecciones por parte de la empresa: 6(meses).
- Inspecciones predictivas (fabricante): 12(meses).
- Mantenimiento mayor (fabricante): 36(meses).

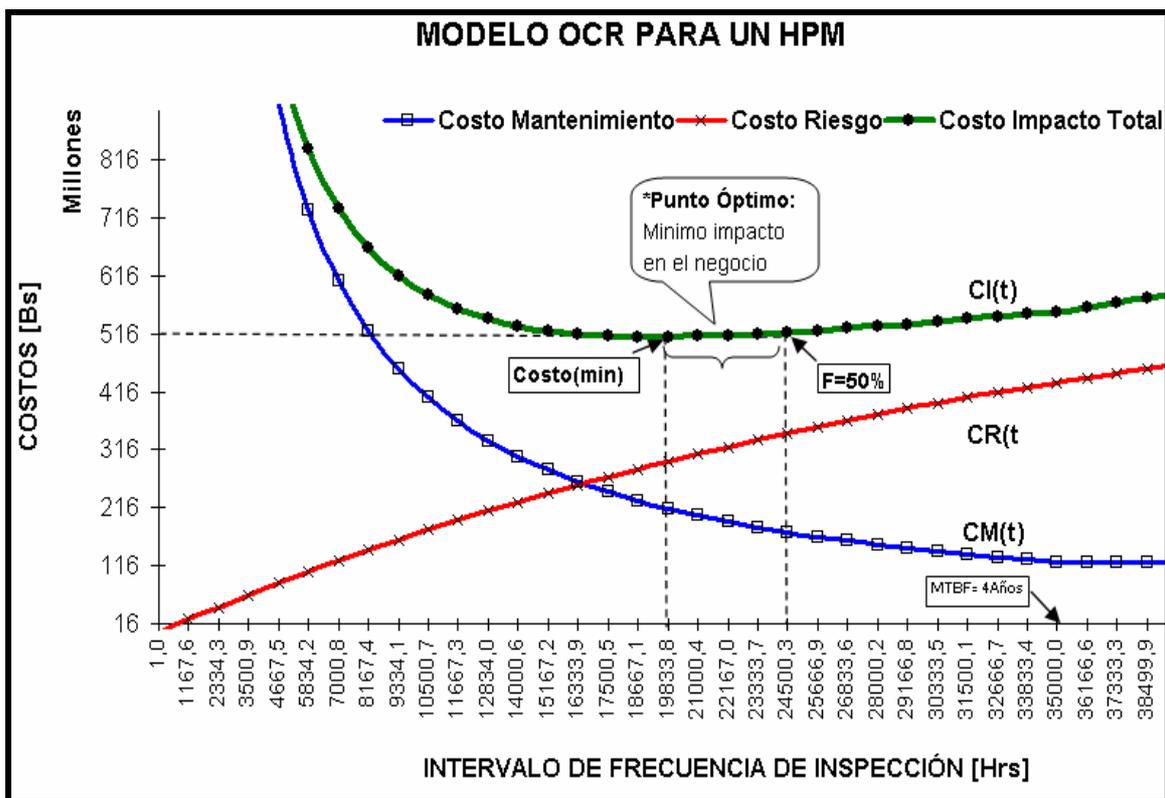


Figura 4.30 Curva del modelo de decisión costo-riesgo para un HPM. Fuente propia.



En la tabla 4.33 se presenta un resumen de los resultados teóricos para la frecuencia de inspección y lo recomendado por el fabricante, ambos relacionados a la confiabilidad.

Tabla 4.33 Resumen del estudio costo – riesgo para un HPM

Modelo OCR	Frecuencia (meses)	Confiabilidad R(%)
Cálculo teórico HPM	34	50%
Recomendado Fabricante		
Inspecciones PDVSA	6	86%
Inspecciones especializadas	12	78%
Mantenimiento Mayor	36	47%

Fuente propia.

Se aprecia que los datos teóricos obtenidos por el modelo OCR, son muy próximos a los recomendados por el fabricante los cuales son de 34 y 36 meses respectivamente, resultado bastante ajustado a la práctica. En cuanto a la confiabilidad se observa en la tabla 4.33, como varía a lo largo de las etapas de inspección y mantenimiento mayor.

4.6.2 Determinación de la frecuencia de inspección (Válvula de control):

La frecuencia de mantenimiento para una válvula de control se consigue en función de los datos obtenidos a través de las investigaciones y opiniones de expertos. A continuación se presentan estos datos, necesarios en la aplicación del modelo:

- **Datos del equipo (Probabilidad de falla):**
 - Valor de λ (Fallos/año): 0,50
 - MTBF (h): 17675



- **Costos asociados a la actividad de mantenimiento planificado:**

- Costos de mano de obra: 17 horas / hombre de un Instrumentista a 400Bs/h
- Costo de materiales / repuestos: Bs. 25.000.
- Tiempo promedio de ejecución para el mantenimiento planificado: 17(h)

- **Consecuencias de la falla en demanda:**

- Costos de mano de obra: 30 horas / hombre de un Instrumentista a 400Bs/h
- Costo de materiales / repuestos: Bs. 25.000.
- Costo de penalización por pérdida de oportunidad (parada del activo):
20% [70(MMBs/h)]=14 MMBs/h
- Tiempo promedio de reparación: 30h.

- **Resultados:**

La estimación de los costos por mantenimiento planificado y correctivo se presentan a continuación:

- Costo por mantenimiento planificado: 31.800.000 Bs.
- Costo por mantenimiento correctivo: 457.000.000 Bs.

En la tabla 4.34 se observan los datos de costos modelados a distintas frecuencias de tiempo. A continuación se presentan los datos resaltados en amarillo que definen los límites del intervalo óptimo para la intervención del equipo:

- El costo del impacto total es mínimo (Bs. 306.731.200): 8.435h / 12meses.
- La probabilidad de falla es igual al cincuenta por ciento ($F \approx 50\%$): 11.900h/16 meses.



Tabla 4.34 Resultados del estudio costo – riesgo para un válvula de control

Tiempo (h)	Pr. Falla F(t)	Confiab R(t)	Costo (Bs) Mantenimiento	Costo (Bs) Falla + SHA	Costo (Bs) Riesgo total	Costo (Bs) Impacto total
350,00	0,0198	0,9802	1.590.000.000,00	9.049.206,30	9.049.206,30	1.599.049.206,30
1505,00	0,0824	0,9176	739.534.883,72	37.659.436,33	37.659.436,33	777.194.320,05
2660,00	0,1410	0,8590	418.421.052,63	64.442.355,70	64.442.355,70	482.863.408,33
3815,00	0,1959	0,8041	291.743.119,27	89.514.673,16	89.514.673,16	381.257.792,42
4970,00	0,2472	0,7528	223.943.661,97	112.985.643,37	112.985.643,37	336.929.305,34
6125,00	0,2953	0,7047	181.714.285,71	134.957.543,00	134.957.543,00	316.671.828,71
7280,00	0,3403	0,6597	152.884.615,38	155.526.116,39	155.526.116,39	308.410.731,77
8435,00	0,3825	0,6175	131.950.207,47	174.780.992,77	174.780.992,77	306.731.200,24
9590,00	0,4219	0,5781	116.058.394,16	192.806.076,85	192.806.076,85	308.864.471,01
10745,00	0,4588	0,5412	103.583.061,89	209.679.914,38	209.679.914,38	313.262.976,27
11900,00	0,4934	0,5066	93.529.411,76	225.476.034,49	225.476.034,49	319.005.446,25
13055,00	0,5257	0,4743	85.254.691,69	240.263.270,06	240.263.270,06	325.517.961,75
14210,00	0,5560	0,4440	78.325.123,15	254.106.057,68	254.106.057,68	332.431.180,83
15365,00	0,5844	0,4156	72.437.357,63	267.064.718,42	267.064.718,42	339.502.076,05
16520,00	0,6109	0,3891	67.372.881,36	279.195.720,69	279.195.720,69	346.568.602,05
17675,00	0,6358	0,3642	62.970.297,03	290.551.926,34	290.551.926,34	353.522.223,37

Fuente propia.

En la figura 4.31, se observa el intervalo de tiempo óptimo donde genera el impacto total más bajo de los costos asociados a la actividad de mantenimiento el mismo se toma como referencia ya que al desplazarnos hacia la derecha de este punto, asumimos más riesgo y un desplazamiento a la izquierda implicaría gastar demasiado dinero.

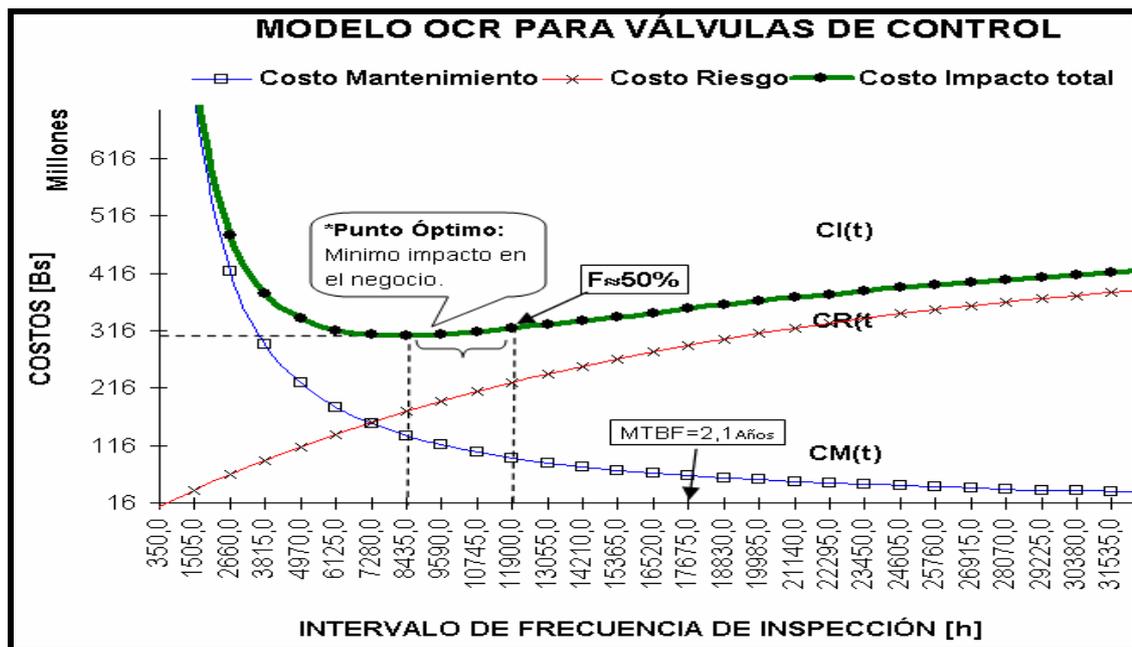


Figura 4.31 Modelo de decisión OCR para una válvula de control. Fuente propia.



En la tabla 4.35 se presenta un resumen de los resultados tanto teórico como la recomendación de expertos y fabricantes para la intervención óptima del equipo.

Tabla 4.35 Resumen del estudio OCR, para una válvula de control.

Modelo OCR (teórico)	Frecuencia (meses)	Confiabilidad R(%)
*Cálculo para $F \approx 50\%$	16	50
*Punto óptimo	12	62

Recomendado expertos	Frecuencia (meses)	Confiabilidad R(%)
*Inspecciones	6 a 12	82 - 68
*Mantenimiento Planificado	12 a 24	68 - 46
*Mantenimiento Mayor	36 ó Parada de planta	-----

Fuente propia.

4.6.3 Determinación de la frecuencia de inspección de transmisores de presión diferencia.

El transmisor es uno de los equipos importantes en la conformación del lazo de control, al igual que los demás equipos requieren de inspecciones y mantenimiento cada cierto intervalo de tiempo, para la aplicación del modelo “OCR” se presentan los siguientes datos:

- **Datos del equipo (Probabilidad de falla):**
 - Valor de λ (Fallos/año): 0,50
 - MTBF (h): 17520
- **Costos asociados a la actividad de mantenimiento planificado:**
 - Costos de mano de obra: 4 horas / hombre de un Instrumentista a 400Bs/h
 - Costo de materiales / repuestos: Bs. 6.000.
 - Tiempo promedio de ejecución para el mantenimiento planificado: 4 h
- **Consecuencias de la falla en demanda:**
 - Costos de mano de obra: 8 horas / hombre de un Instrumentista a 400Bs/h
 - Costo de materiales / repuestos: Bs. 12.000.



- Costo de penalización por pérdida de oportunidad (parada del activo):
20% [70(MMBs/h)]=14 MMBs/h
- Tiempo promedio de reparación: 8h

• **Resultados:**

La estimación de los costos por mantenimiento planificado y correctivo se presentan a continuación:

- Costo por mantenimiento planificado: 13.600.000 Bs.
- Costo por mantenimiento correctivo: 127.200.000 Bs.

Los datos obtenidos de las variables de costo modelado a distintas frecuencias se observan en la tabla 4.36, para un transmisor de presión diferencial (PDT).

Tabla 4.36 Resultados del estudio costo – riesgo para un PDT

Tiempo (h)	Pr. Falla F(t)	Confiab R(t)	Costo (Bs) Mantenimiento	Costo (Bs) Falla + SHA	Costo (Bs) Riesgo total	Costo (Bs) Impacto total
1,00	0,0001	0,9999	238.272.000.000,00	7.260,07	7.260,07	238.272.007.260,07
584,97	0,0328	0,9672	407.325.773,55	4.176.900,01	4.176.900,01	411.502.673,56
1168,93	0,0645	0,9355	203.837.116,46	8.209.850,57	8.209.850,57	212.046.967,03
1752,90	0,0952	0,9048	135.930.172,86	12.110.592,70	12.110.592,70	148.040.765,56
2336,87	0,1249	0,8751	101.962.171,57	15.883.460,48	15.883.460,48	117.845.632,05
2920,83	0,1536	0,8464	81.576.718,97	19.532.645,88	19.532.645,88	101.109.364,85
3504,80	0,1813	0,8187	67.984.478,43	23.062.203,47	23.062.203,47	91.046.681,90
4088,77	0,2081	0,7919	58.274.785,39	26.476.054,89	26.476.054,89	84.750.840,28
4672,73	0,2341	0,7659	50.991.996,12	29.777.993,23	29.777.993,23	80.769.989,35
5256,70	0,2592	0,7408	45.327.296,59	32.971.687,23	32.971.687,23	78.298.983,83
5840,67	0,2835	0,7165	40.795.343,00	36.060.685,37	36.060.685,37	76.856.028,37
6424,63	0,3070	0,6930	37.087.252,71	39.048.419,79	39.048.419,79	76.135.672,50
7008,60	0,3297	0,6703	33.997.089,29	41.938.210,12	41.938.210,12	75.935.299,41
7592,57	0,3517	0,6483	31.382.273,01	44.733.267,17	44.733.267,17	76.115.540,18
8176,53	0,3729	0,6271	29.140.956,23	47.436.696,50	47.436.696,50	76.577.652,73
8760,50	0,3935	0,6065	27.198.447,58	50.051.501,84	50.051.501,84	77.249.949,42
9344,47	0,4134	0,5866	25.498.726,52	52.580.588,48	52.580.588,48	78.079.315,00
9928,43	0,4326	0,5674	23.998.952,50	55.026.766,46	55.026.766,46	79.025.718,96
10512,40	0,4512	0,5488	22.665.804,19	57.392.753,68	57.392.753,68	80.058.557,87
11096,37	0,4692	0,5308	21.472.974,64	59.681.178,97	59.681.178,97	81.154.153,61
11680,33	0,4866	0,5134	20.399.417,82	61.894.584,96	61.894.584,96	82.294.002,79
12264,30	0,5034	0,4966	19.428.096,18	64.035.430,95	64.035.430,95	83.463.527,13
12848,27	0,5197	0,4803	18.545.069,63	66.106.095,60	66.106.095,60	84.651.165,23
13432,23	0,5354	0,4646	17.738.822,29	68.108.879,60	68.108.879,60	85.847.701,88
14016,20	0,5507	0,4493	16.999.757,42	70.046.008,21	70.046.008,21	87.045.765,63
14600,17	0,5654	0,4346	16.319.813,70	71.919.633,76	71.919.633,76	88.239.447,46
15184,13	0,5797	0,4203	15.692.169,90	73.731.838,00	73.731.838,00	89.424.007,90
15768,10	0,5934	0,4066	15.111.015,28	75.484.634,46	75.484.634,46	90.595.649,74
16352,07	0,6068	0,3932	14.571.369,16	77.179.970,64	77.179.970,64	91.751.339,81
16936,03	0,6197	0,3803	14.068.937,83	78.819.730,21	78.819.730,21	92.888.668,04
17520,00	0,6321	0,3679	13.600.000,00	80.405.735,08	80.405.735,08	94.005.735,08

Fuente propia.



Los datos resaltados en amarillo que definen los límites del intervalo óptimo para la intervención del equipo son:

- El costo del impacto total es mínimo (Bs. 75.935.300): 7.009h / 10meses.
- La probabilidad de falla es igual al cincuenta por ciento ($F \approx 50\%$): 12.264h / 17 meses.

En la figura 4.32, presenta la tendencia de la curva de costo total donde se ubica el intervalo óptimo de tiempo que genera el impacto total más bajo de los costos asociados a la actividad de mantenimiento.

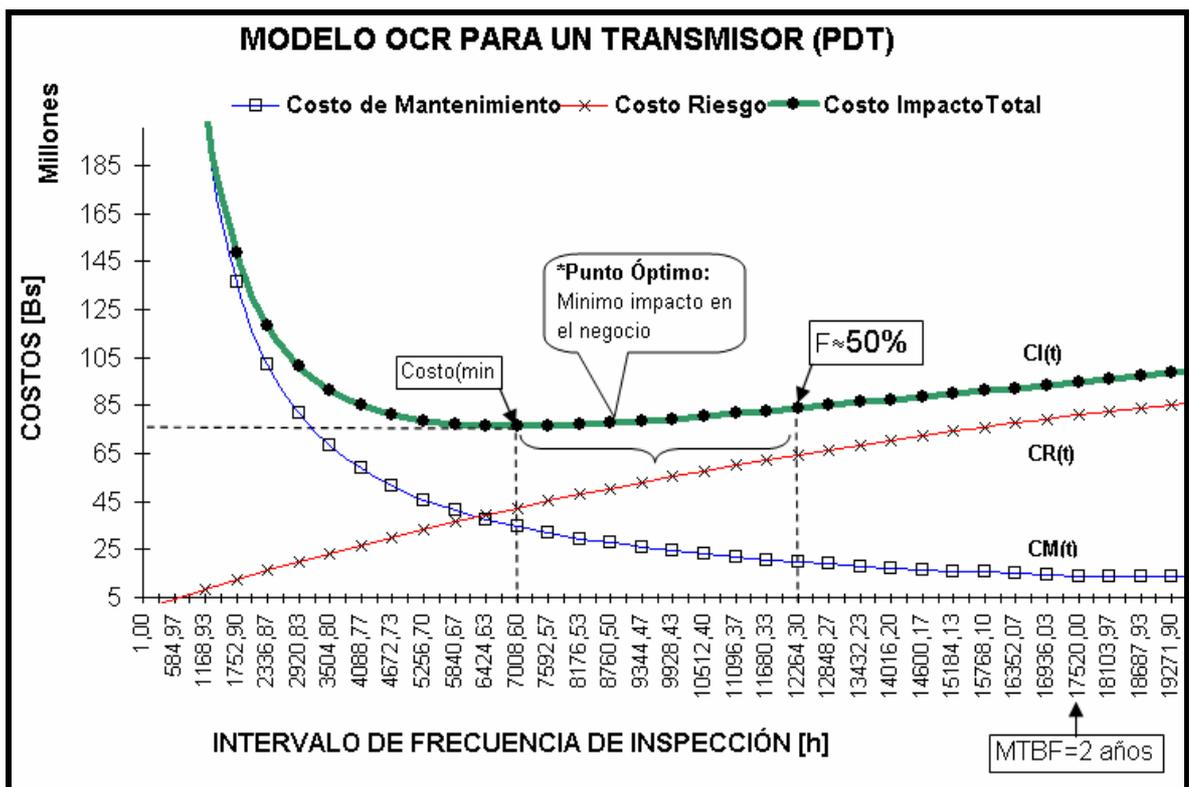


Figura 4.32 Modelo de decisión OCR, para un transmisor (PDT). Fuente propia.

En la tabla 4.37 se presenta un resumen de los resultados de la variable frecuencia de inspección en función de la confiabilidad.



Tabla 4.37 Resumen del estudio OCR, para un PDT

Modelo OCR (teórico)	Frecuencia (meses)	Confiability R(%)
*Cálculo para $F \approx 50\%$	17	50
*Punto costo total mínimo	10	68

Recomendado expertos	Frecuencia (meses)	Confiability R(%)
*Inspecciones	6	78
*Mantenimiento Planificado	12	60
*Mantenimiento Mayor	36 ó Parada de planta	-----

Fuente propia.

4.6.4 Determinación de la frecuencia de inspección de convertidor I / P.

A continuación se presenta los datos de las variables necesarias en la aplicación del modelo “Optimización Costo Riesgo” con el objetivo de obtener una estimación de la frecuencia para los planes de mantenimiento para un transmisor de presión diferencial:

- **Datos del equipo (Probabilidad de falla):**
 - Valor de λ (Fallos/año): 0,50
 - MTBF (h): 17520.
- **Costos asociados a la actividad de mantenimiento planificado:**
 - Costos de mano de obra: 4 horas / hombre de un Instrumentista a 400Bs/h
 - Costo de materiales / repuestos: Bs. 2.000.
 - Tiempo promedio de ejecución para el mantenimiento planificado: 4 h
- **Consecuencias de la falla en demanda:**
 - Costos de mano de obra: 8 horas / hombre de un Instrumentista a 400Bs/h
 - Costo de materiales / repuestos: Bs. 4.000.
 - Costo de penalización por pérdida de oportunidad (parada del activo):
20% [70(MMBs/h)]=14 MMBs/h
 - Tiempo promedio de reparación: 8h.



• **Resultados:**

La estimación de los costos por mantenimiento planificado y correctivo se presentan a continuación:

- Costo por mantenimiento planificado: 3.600.000 Bs.
- Costo por mantenimiento correctivo: 119.200.000 Bs.

En la tabla 4.38, apreciamos los datos obtenidos de las variables de costo modelado a distintas frecuencias de un convertidor (FY), los datos resaltados en amarillo definen los límites del intervalo óptimo para la intervención del convertidor los cuales son:

Tabla 4.38 Resultados del estudio OCR, para un convertidor (FY)

Tiempo (h)	Pr. Falla F(t)	Confiab R(t)	Costo (Bs) Mantenimiento	Costo (Bs) Falla + SHA	Costo (Bs) Riesgo total	Costo (Bs) Impacto total
1,00	0,0001	0,9999	189.216.000,00	6.803,46	6.803,46	189.216.006.803,46
1752,97	0,0952	0,9048	107.940.443,82	11.349.330,60	11.349.330,60	119.289.774,42
3504,93	0,1813	0,8187	53.985.620,27	21.612.493,10	21.612.493,10	75.598.113,37
5256,90	0,2592	0,7408	35.993.836,67	30.899.004,22	30.899.004,22	66.892.840,89
7008,87	0,3297	0,6703	26.996.661,37	39.301.802,96	39.301.802,96	66.298.464,33
8760,83	0,3935	0,6065	21.597.945,40	46.904.984,13	46.904.984,13	68.502.929,53
10512,80	0,4512	0,5488	17.998.630,24	53.784.640,05	53.784.640,05	71.783.270,29
12264,77	0,5034	0,4966	15.427.606,99	60.009.621,99	60.009.621,99	75.437.228,98
14016,73	0,5507	0,4493	13.499.293,70	65.642.229,29	65.642.229,29	79.141.522,99
15768,70	0,5934	0,4066	11.999.467,30	70.738.832,83	70.738.832,83	82.738.300,13
17520,67	0,6321	0,3679	10.799.589,06	75.350.439,20	75.350.439,20	86.150.028,25

Fuente propia.

- El costo del impacto total es mínimo (Bs. 66.298.464): 7.008h / 10meses.
- La probabilidad de falla es igual al cincuenta por ciento ($F \approx 50\%$): 12.264h / 17 meses.

En la figura 4.33 se observa la tendencia de la curva total donde se ubica el punto óptimo que genera el impacto total más bajo de los costos asociados a la actividad de mantenimiento para un convertido (FY).

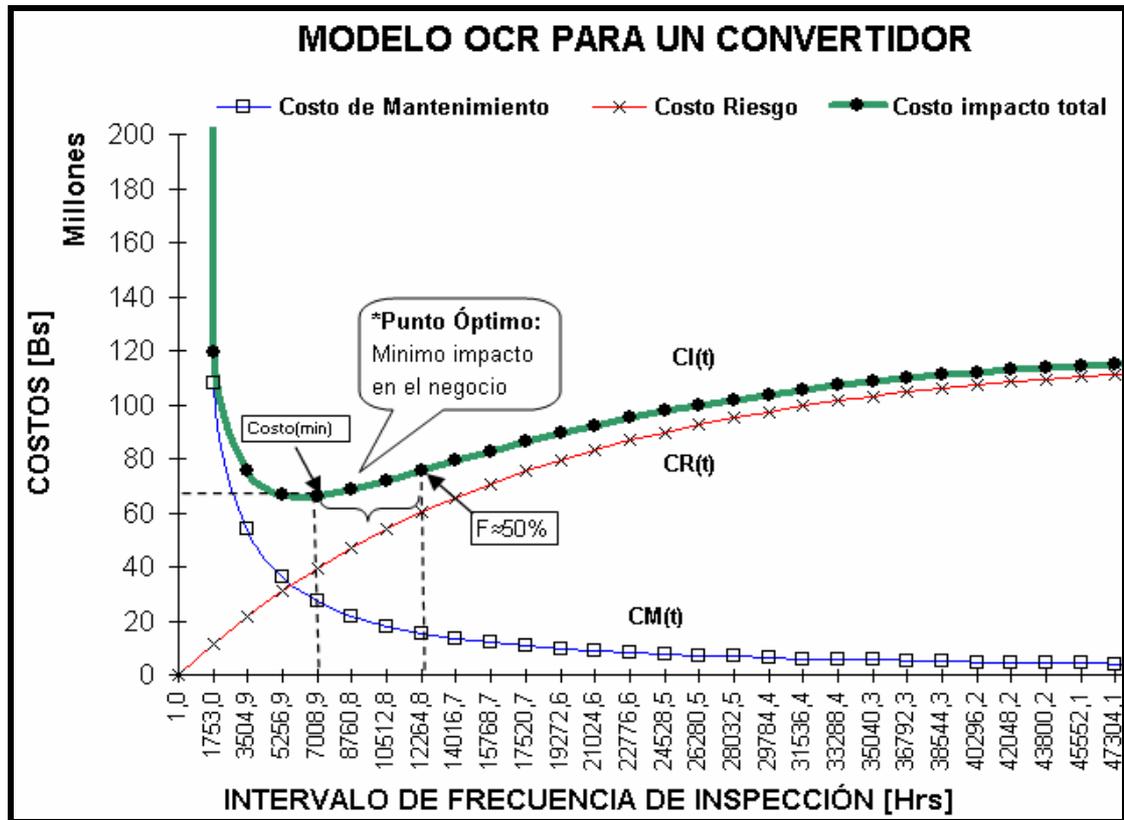


Figura 4.33 Curva OCR para un convertidor (FY). Fuente propia.

En la tabla 4.39, se presenta un resumen de los resultados de la variable frecuencia de inspección.

Tabla 4.39 Resumen del estudio costo – riesgo para un convertidor (FY).

Modelo OCR (teórico)	Frecuencia (meses)	Confiabilidad R(%)
*Cálculo para $F \approx 50\%$	17	50
*Punto óptimo	12	68

Recomendado expertos	Frecuencia (meses)	Confiabilidad R(%)
*Inspecciones	6	78
*Mantenimiento Planificado	12	60
*Mantenimiento Mayor	36 ó Parada de planta	-----

Fuente propia.



4.6.5 Resumen de los estudios realizados aplicando el modelo OCR.

En la tabla 4.40 se muestra un resumen de los resultados obtenidos de los distintos equipos analizados, la misma está clasificada de acuerdo a su tasa de falla (λ), confiabilidad (R), frecuencia actual, frecuencia propuesta o nueva para equipos críticos y medianamente críticos y ahorro aproximado al año por equipo.

Tabla 4.40 Resumen general del estudio OCR, para los equipos en estudio.

Equipo	λ (fallos/año)	Confiabilidad R(%)	Frecuencia tradicional(mes)	Frecuencia nueva(mes)			Críticidad	Ahorro potencial aproximado por equipo
				INSP	MP	MM		
HPM	0,1 - 0,3	86 - 47	3	6	12	36 ó PP	Alta	2MBsf/año
Válvula de control	0,2 - 2	80 - 50	3	6	12	36 ó PP	Alta	4MBsf/año
				12	24		Media	
				-----	MC		Baja	
Transmisor (PDT)	0,5 - 0,9	75 - 50	3	6	12	36 ó PP	Alta	2MBsf/año
				-----	12		Media	
				-----	MC		Baja	
Convertidor (FY)	0,5 - 0,9	75 - 50	3	6	12	36 ó PP	Alta	2MBsf/año
				-----	12		Media	
				-----	MC		Baja	

Fuente propia.



4.7 SÉPTIMA FASE. Plan de Mantenimiento Optimizado.

Después de obtenidos los resultados del análisis de criticidad, AMEF, análisis de confiabilidad y el análisis de OCR, herramientas que dieron las pautas para el estudio del mantenimiento centrado en confiabilidad de los HPM del sistema de control distribuido así como de la instrumentación de equipos críticos de la Planta de FCC, se realizó un plan de mantenimiento preventivo general, bajo un sistema automatizado, que permite reducir las paradas imprevistas, los costos de mantenimiento y un mejor control de personal, materiales y equipos.

4.7.1 Automatización de la gestión de mantenimiento para los HPM del TDC-3000

La aplicación de un sistema informático es primordial para el funcionamiento de la gestión de mantenimiento, las actividades desempeñadas por la Gerencia de Instrumentación y Control de La RELP se basan en la sistema integrado para la gestión de mantenimiento SIGMA, y es una herramienta de software catalogada como un Sistema de Información ya que está compuesta por un conjunto de componentes informáticos interrelacionados que permiten capturar, procesar, almacenar y distribuir la información para apoyar la toma de decisiones y el control en la gestión de la Gerencia de Instrumentación y Control. SIGMA implementa el registro de las actividades de mantenimiento ejecutadas en una jornada diaria, administración de las actividades de mantenimiento pendientes o en backlog, seguimiento al plan de mantenimiento preventivo asociado a cada equipo tipificado como crítico, administración de la disponibilidad del recurso humano efectivo, administración de la planificación anual del mantenimiento preventivo basado en tiempo y generación de reportes e indicadores diarios o mensuales para el control de la gestión.

Con el objetivo de automatizar la gestión de mantenimiento se utilizaron los resultados de la segunda fase donde se obtuvo, el levantamiento de la ruta de los equipos que conforman el sistema de control distribuido representados en los apéndices A.2 y A.3.



Posteriormente se organizó la información y se procedió a procesarla en la base de datos del programa obteniéndose como resultado un plan de mantenimiento optimizado el cual se puede apreciar en las figuras 4.34 y 4.35, donde se visualiza el plan de mantenimiento de los HPM 09/10 y 19/20 respectivamente. El resto de equipos se aprecian en el apéndice E, de las figuras E.1 a la E.6.

MENU - Windows Internet Explorer

PDVSA

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - AGREGAR

USUARIO: JOSE PABON ROL: CUSTODIO GERENCIA: AUTOMATIZACION, INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES

REFINERÍA: REFINERIA EL PALITO SUPERINTENDENCIA DE: AUTOMATIZACION SECCIÓN: AUTOMATIZACIÓN

ÁREA: PLANTA:

EQUIPO:

Plan de Mantenimiento Preventivo - Agregar

EQUIPO	(TAG, SECTA)	TIPO DE INSTRUMENTO	SERVIDOR	MESES 2010													
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
05HPM09/10	05HPM09/10_F101/201CARDS_MOD_1	HPM com/cont (51403988-150)_02	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_F101/201CARDS_MOD_2	HPM I/O Link (51309276-150)_02	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_F101/201CARDS_MOD_3	HPM UCN Interface (51402573-250)_02	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_F1-2-3_IOP-CARDS_1	IOP-HLAI (MC-PAIH03)_06	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_F1-2-3_IOP-CARDS_2	IOP-STIM (MC-PSTX03)_04	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_F1-2-3_IOP-CARDS_3	IOP-AO_08 (MC-PAOX03)_06	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_F1-2-3_IOP-CARDS_4	IOP-AO_16 (MC-PAOY22)_04	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_F1-2-3_IOP-CARDS_5	IOP-DO_16 (MC-PDOX02)_02	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_F1-2-3_IOP-CARDS_6	IOP-LLMUX_32 (MU-PLAM02)_01	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_F1-2-3_IOP-CARDS_7	IOP-DISOE_32 (MU-PDIS02)_03	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_PS_1	POWER S_20A (51198947-100)_02	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_PS_2	48VBATTERYBACK(51303948-100)_02	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_PS_3	CMOSBATTERYBACK(51309206-175)_03	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_MOD__FTA-CARDS_1	FTA-HLAI (MU-TAIH12)_04	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
05HPM09/10	05HPM09/10_MOD__FTA-CARDS_2	FTA-HLAI (MU-TAIH52)_02	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Figura 4.34 Plan de mantenimiento preventivo del HPM 09/10 de la Planta de FCC.

Fuente SIGMA RELP.

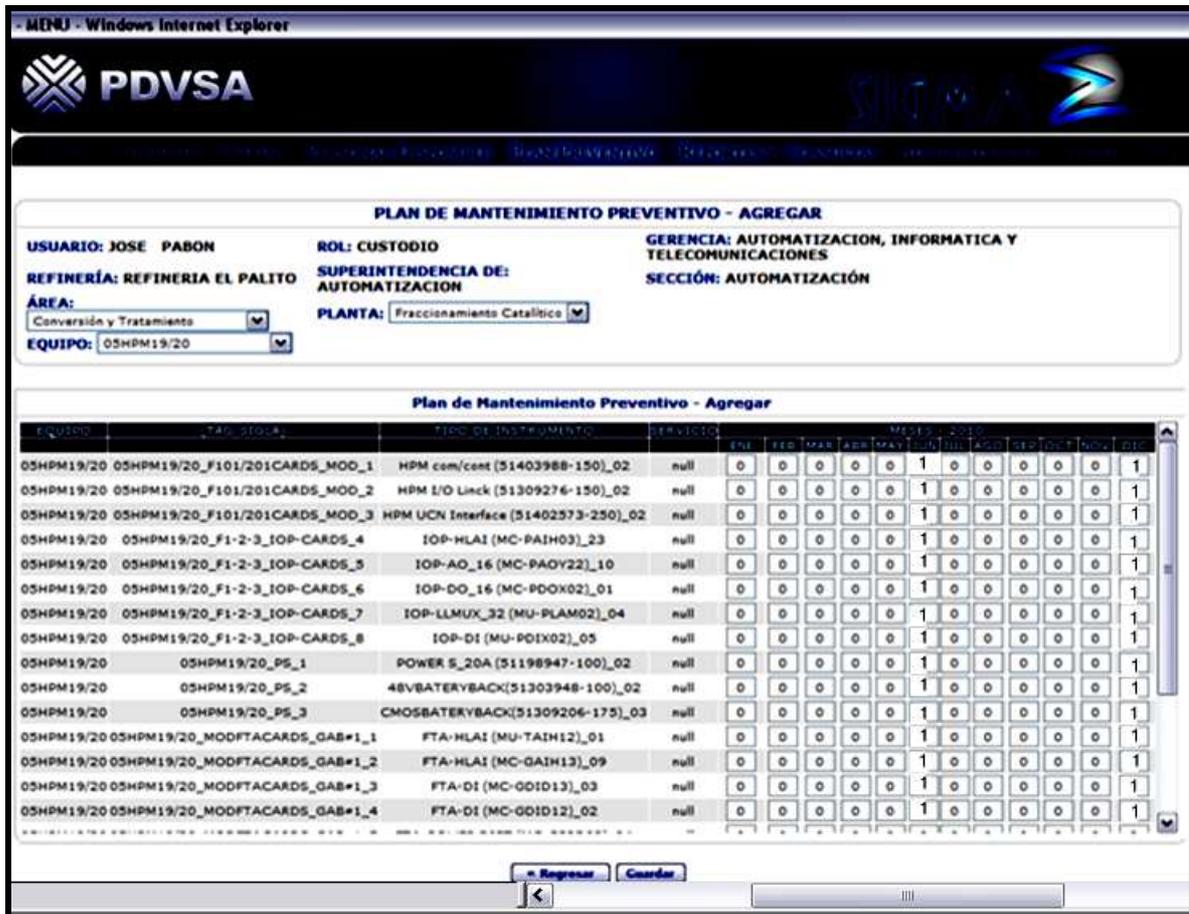


Figura 4.35 Plan de mantenimiento preventivo del HPM 19/20 de la Planta de FCC.

Fuente SIGMA RELP.

4.7.2 Niveles de mantenimiento preventivo de los sistemas productivos.

Para la definición de los niveles de mantenimiento, se utiliza la norma COVENIN 18:1-001 indicada en el capítulo II, ésta norma aplica a las acciones de gestión de mantenimiento preventivo en PDVSA, sus negocios y filiales, empresas mixtas, servicios contratados y cualquier otro negocio con terceros dentro y fuera del territorio nacional, siempre y cuando no contravenga las legislaciones de las regiones o de los países involucrados. A continuación se muestran en las tablas 4.41 a la 4.43 las actividades generales de mantenimiento clasificadas de acuerdo a los diferentes niveles especificados en la Norma PDVSA MR-02-02-03, “Niveles de Mantenimiento”, aplicado a los equipos en estudio:

Tabla 4.41 Actividades asociadas a los niveles de mantenimiento / HPM TDC-3000

Actividades de Acuerdo a los Niveles de Mantenimiento Sistema Productivo: Sistema de Control Distribuido TDC-3000/HPM Honeywell Contexto Operacional: REFINERÍA EL PALITO (AIT)				
NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5
<ul style="list-style-type: none"> • Verificar humedad en partes externas visibles. • Inspeccionar visualmente el cableado de red, alimentación eléctrica y puesta a tierra. • Verificar condiciones ambientales del área donde se ubica el equipo temperatura, humedad, vapores polvo, etc. • Visualizar status del procesador • Verificar el diagnostico de errores por sistema. • Verificar leds de tarjeta I/O. • Verificar leds de power supply. • Verificar visualmente el estado de las baterías. • Verificar por sistema parametros de comunicación. • Verificar errores de la plataforma PC's 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar partes externas del equipo y gabinete de control. • Adecuar avisos de identificación. • Navegar entre despliegues para comprobar operatividad y condiciones de señales de control. • Inspeccionar llave o licencia de hardware. • Verificar humedad en partes internas y externas del sistema de control • Reemplazo de baterías para HPM. • Reemplazo de baterías. • Sustitución de tarjetas I/O • Respalda aplicación y configuración del equipo (base de datos de tiempo real, base de datos relacionales, alarmas, registros de eventos e históricos, despliegues, atributos de usuarios, entre otros) 	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección especializada • Revisar parámetros de configuración. • Limpiar y ajustar componentes internos. • Actualizar antivirus y parches. • Verificar condición de operación de memoria, CPU y unidades de almacenamiento del equipo. • Realizar limpieza interna de cpu's • Realizar imagen de sistema operativo y respaldar en DVD. • Reiniciar los PC's • Medir alimentación eléctrica del sistema de control (24VDC-120 VAC). 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar aplicación para inclusión o exclusión de señales o procesos. • Reemplazar componentes o dispositivos por obsolescencia u optimización o aumento en las . señales de control. • Realizar upgrade de las versiones de sistemas de control • Configuración de nuevos puntos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazo de componentes, I/O fuentes, procesadores etc.

Fuente propia.

Tabla 4.42 Actividades asociadas a los niveles de mantenimiento / Sensores de proceso / Transmisores / Convertidores

SENSORES DE PROCESO

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> LIMPIEZA EXTERNA DEL INSTRUMENTO (DISPLAY, CUERPO). <input type="checkbox"/> LIMPIEZA ÁREA ADYACENTE. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> VERIFICACIÓN Y AJUSTE DE CONECTORES, TERMINALES Y CONTACTOS. <input type="checkbox"/> REEMPLAZO DE BATERIAS. <input type="checkbox"/> VERIFICACIÓN DE HERMETICIDAD DEL EQUIPO 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> MEDICIÓN DE ALIMENTACIÓN (L, +, -) <input type="checkbox"/> VERIFICACIÓN CON CAMPO DE LAS MEDIDAS SUMINISTRADAS POR EL INSTRUMENTO. <input type="checkbox"/> AJUSTE A CERO <input type="checkbox"/> CAMBIO DE DISPLAY <input type="checkbox"/> INSPECCIÓN ESPECIALIZADA <input type="checkbox"/> REEMPLAZO DE TARJETAS. <input type="checkbox"/> CALIBRACIÓN <input type="checkbox"/> INSPECCIÓN ESPECIALIZADA 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> REPARACIÓN DE TARJETAS. <input type="checkbox"/> MANTENIMIENTO Y CONFIGURACIÓN POR SOFTWARE. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> MANTENIMIENTO MAYOR DEL INSTRUMENTO. <input type="checkbox"/> ACTUALIZACIÓN DE HARDWARE, SOFTWARE Y FIRMWARE

CONVERTIDORES / TRANSMISORES

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> LIMPIEZA DEL INSTRUMENTO. <input type="checkbox"/> REEMPLAZO DE FUSIBLES 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> VERIFICACIÓN Y AJUSTE DE CONECTORES, TERMINALES Y CONTACTOS. <input type="checkbox"/> VERIFICACIÓN DE HERMETICIDAD DEL EQUIPO 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> MEDICIÓN DE ALIMENTACIÓN (L, +, -). <input type="checkbox"/> VERIFICACIÓN CON CAMPO DE LAS MEDIDAS SUMINISTRADAS POR LA UNIDAD. <input type="checkbox"/> AJUSTE A CERO. <input type="checkbox"/> INSPECCIÓN ESPECIALIZADA. <input type="checkbox"/> REEMPLAZO DE TARJETAS. <input type="checkbox"/> CALIBRACION. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> REPARACION DE TARJETAS. <input type="checkbox"/> MANTENIMIENTO Y CONFIGURACION POR SOFTWARE 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> MANTENIMIENTO MAYOR DEL CONVERTIDOR. <input type="checkbox"/> ACTUALIZACION DE HARDWARE, SOFTWARE Y FIRMWARE.

Fuente propia.

Tabla 4.43 Actividades asociadas a los niveles de mantenimiento / Unidad de control / Válvulas de control

UNIDAD DE CONTROL

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> LIMPIEZA EXTERNA DEL INSTRUMENTO <input type="checkbox"/> LIMPIEZA ÁREA ADYACENTE. <input type="checkbox"/> REEMPLAZO DE BOLSAS PARA HUMEDAD. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> VERIFICACION DE CONDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN GABINETE. <input type="checkbox"/> VERIFICACIÓN DE INDICADORES DE ESTADO. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> INSPECCION ESPECIALIZADA. <input type="checkbox"/> REEMPLAZO DE BATERIAS. <input type="checkbox"/> REVISION Y AJUSTE DE TERMINALES, CONTACTOS EN BORNERAS, AJUSTE DE CONECTORES. <input type="checkbox"/> SUSTITUCION DE TARJETAS IO, CPU, FUENTE DE PODER. <input type="checkbox"/> MEDICIÓN DE ALIMENTACIÓN (L, +, -) <input type="checkbox"/> VERIFICACIÓN DE LA INTEGRIDAD DE APANTALLAMIENTO DE CABLES DE COMUNICACIÓN. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> DEPURACION Y ACTUALIZACIÓN DEL SOFTWARE. <input type="checkbox"/> MONITOREO SIMULTÁNEO DE SEÑALES IO CRÍTICAS. <input type="checkbox"/> CONFIGURACIÓN Y CARGA DE SOFTWARE. <input type="checkbox"/> PRUEBAS DE COMUNICACIÓN EN SEÑALES CRÍTICAS <input type="checkbox"/> RESPALDO (BACK-UP) DE SOFTWARE Y BASE DE DATOS <input type="checkbox"/> VERIFICAR INTEGRIDAD DE ELEMENTOS DE PUESTA A TIERRA Y MEDICIÓN DE RESISTENCIA. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> MANTENIMIENTO MAYOR DE LA UNIDAD DE CONTROL <input type="checkbox"/> ACTUALIZACIÓN DE HARDWARE, SOFTWARE Y FIRMWARE.

VÁLVULAS DE CONTROL

EQUIPO	CLASE	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO POR NIVEL				
		NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
ESTÁTICO	VÁLVULAS DE CONTROL, COMPUERTA, RETENCIÓN GLOBO, RIPOSA Y TAPÓN.	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> VERIFICACION DE OPERATIVIDAD (APERTURA Y CIERRE). <input type="checkbox"/> LIMPIEZA EXTERNA. <input type="checkbox"/> DRENAJE DE LÍQUIDO EN FILTRO DEL REGULADOR. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> LUBRICACIÓN Y ENGRASE. <input type="checkbox"/> DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE FUGAS (AJUSTE DE PRENSA ESTORA Y/O PERNOS) <input type="checkbox"/> INSPECCIÓN VISUAL PARA DETECCIÓN DE DAÑOS EN EL CUERPO, BRIDAS, VOLANTE, VÁSTAGO Y PERNOS Y TUERCAS. <input type="checkbox"/> REPARACIÓN DE LA PINTURA EXTERNA. <input type="checkbox"/> REEMPLAZO O MANTENIMIENTO DE ELEMENTOS ESTADARES (VOLANTE, TUERCAS Y PERNOS). 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> REEMPLAZO DE EMPACATURAS Y PRENSA ESTORA <input type="checkbox"/> INSPECCIÓN ESPECIALIZADA PARA DETECCIÓN DE FUGAS INTERNAS <input type="checkbox"/> INSPECCIÓN DE ELEMENTOS INTERNOS (OLA, ASIENTOS, TAPÓN, COMPUERTA, CLAPETA, ENG RANALES, ANILLOS, REVESTIMIENTO, ETC) <input type="checkbox"/> LIMPIEZA INTERNA. <input type="checkbox"/> INSPECCIÓN Y AJUSTE DE CARRERA DE ACTUADOR. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> RECONDICIONAMIENTO EXTERNO E INTERNO DEL CUERPO, ASICOMO, BRIDAS Y VÁSTAGO. <input type="checkbox"/> PRUEBA DE HERMETICIDAD EN BANCO PARA ENSAYO HIDROSTÁTICO. <input type="checkbox"/> RECONDICIONAMIENTO DE SUPERFICIE Y APLICACIÓN DE PINTURA EXTERNA Y/O INTERNA <input type="checkbox"/> RECONDICIONAMIENTO DEL ACTUADOR: CAMBIO DE ACEITE, RODAMIENTOS, PARTES MECÁNICAS, MOTOR ELÉCTRICO, RESORTE, DIAFRAGMA, KIT DEO-RING PISTÓN 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> MANTENIMIENTO MAYOR. INVOLUCRA: RECONDICIONAMIENTO O REEMPLAZO PARCIAL O TOTAL DEL EQUIPO; y REEMPLAZO DEL TOTAL DEL CUERPO Y/O INTERNOS. <input type="checkbox"/> PRUEBA DE HERMETICIDAD EN BANCO DE ENSAYO HIDROSTÁTICO. <input type="checkbox"/> LIMPIEZA ABRASIVA PARA APLICACIÓN DE PINTURA EXTERNA Y/O INTERNA.

Fuente propia.



4.7.3 Procedimientos de inspección de los equipos e instrumentos específicos.

La inspección es una tarea de mantenimiento basado en la condición, realizada periódicamente de manera visual o mediante instrumentos para evaluar la condición de un equipo. Así, durante la operación del equipo o sistema, las inspecciones se llevan a cabo con intervalos fijos, especificados hasta que se alcanza el nivel crítico, en cuyo momento se realizan las tareas de mantenimiento preventivo prescritas. Si el elemento falla entre inspecciones, se realiza un mantenimiento correctivo. Es conveniente inspeccionar cuando:

- Es técnicamente factible detectar fallas potenciales.
- Existen funciones ocultas generadoras de fallas no evidentes a los usuarios bajo circunstancias normales de operación.
- Las fallas involucran altas consecuencias para la seguridad, el ambiente o las operaciones.
- El costo de la actividad de inspección es menor que el costo del riesgo que se mitiga con dicha actividad.

En función de lo antes expuesto se procedió a diseñar junto con los ingenieros y supervisores del departamento de Automatización, los instrumentos necesarios para realizar las inspecciones y recopilar la información con la finalidad de evaluar las condiciones del equipo. En el apéndice E, las figuras E.7 a la E.11, apreciamos los reportes de inspección y mantenimiento, para los HPM del sistema de control distribuido, válvulas de control, instrumentos en general así como una hoja de registro de fallas para instrumentos.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

C
O
N
C
L
U
S
I
O
N
E
S
Y
R
E
C
O
M
E
N
D
A
C
I
O
N
E
S



Conclusiones

- Con el diagnóstico de la situación actual de la gestión de mantenimiento mediante la aplicación del instrumento de evaluación (NORMAS COVENIN 2500-96), se obtuvo una puntuación global de 57%, indicando que la gestión de mantenimiento se encuentra en un nivel o etapa de entendimiento, lo que significa que el Departamento de Automatización, entienden los criterios de las mejores prácticas y beneficios que trae implantar los mismos a la gestión. También se obtuvo la ponderación por área (planificación y medición-control), con un 47 y 51 por ciento respectivamente siendo las más bajas en los resultados de la evaluación.
- Al realizar la identificación y ubicación técnica de los equipos que conforman el TDC-3000, mediante la recopilación de documentos, entrevistas al personal especializado y trabajo de campo, se logró actualizar la topología de la red del sistema de control distribuido (TDC-3000), aportando información detallada para los ingenieros de planta a cargo del mismo. También se realizó el levantamiento de un inventario de componentes que conforman cada HPM, GUS, AM entre otros; con el objetivo de crear la ruta de mantenimiento a través del sistema integral de gestión (SIGMA).
- Los equipos D-6101/02 y D-6103/04, reactor y regenerador respectivamente, fueron seleccionados para el análisis de criticidad de la instrumentación, por su nivel de importancia en el proceso de la unidad de FCC, según información aportada por la Superintendencia de ingeniería e instalaciones. Como resultado del análisis, de 85 instrumentos seleccionados, que cumplen funciones en los equipos D-6101/02 y D-0203/04, se logró establecer un orden jerárquico definiendo 52 como críticos o medianamente críticos y 33 de baja criticidad, implicando las modificaciones de los planes de mantenimiento y en consecuencia, reduciendo el número de órdenes, debido que los equipos que solo se tomarán en cuenta para la planificación, son los críticos y medianamente críticos. En la actualidad existen planes de mantenimiento sin definición de criticidad y con frecuencias de intervención trimestral.



Como consecuencia del análisis disminuyen los costos, al eliminar tareas de rutinas innecesarias y prevenir o eliminar fallas de alto impacto. Algunos de los instrumentos críticos jerarquizados: 61-LT-04, 61-PDIT-29, 61-PDIT-34, 61-TT-02, 61-PDT-17 y 61-TV-02 entre otros.

- Al realizar el análisis AMEF, correspondiente a cada instrumento, se obtuvo 4 plantillas, aportando información detallada de los modos de fallos, tal es el caso del elemento final de control (válvula de control), donde algunos modos de fallos con su código normalizado son: atascada para cerrar (FTO), inestable (FTR), respuesta lenta (DOP), salida alta (HIO), fuga fluido de proceso (ELP), diferencia de lectura con campo (AIR), entre otros. Esta información permitirá establecer estrategias de mantenimiento que ayudarán a mitigar las consecuencias mediante un rápido análisis de fallas.
- El análisis de confiabilidad permitió obtener resultados importantes que reflejan el estado funcional del equipo así como el desempeño de la gestión de mantenimiento. Para el caso de los HPM, la tasa de falla de planta es de 0.88 fallas/año, valor elevado comparado con el de fábrica de 0,33 fallas/año, afectando la confiabilidad del sistema y estableciendo un promedio entre fallas de 1,2 años aproximadamente, cuando éste parámetro debería estar en un valor de 3 años como mínimo. Los resultados obtenidos para los instrumentos estudiados en cuanto la tasa de fallas y confiabilidad fueron óptimos, se encuentran dentro de los rangos establecidos de acuerdo a la base de datos patrón, 0,5 y 1 fallos por año para válvulas de control y convertidores, 0,5 y 1,5 fallos por año para transmisores (PDT), así lo reflejan los cálculos y gráficos del capítulo IV, sección 4.5.2.

El indicador de mantenibilidad, que se obtuvo en la fase cinco sección 4.5.3, para cada instrumento servirá de referencia para estimar las horas-hombres de un mantenimiento programado, así como el costo de oportunidad por falla o reparación del equipo. Para un valor del 63,2 por ciento de mantenibilidad, arrojó como resultado: 4 horas/hombre para un HPM, 17



horas/hombre para una válvula de control, 6,4 y 5,3 horas/hombre para un transmisor y convertidor respectivamente. La disponibilidad obtenida para los HPM, reflejan un valor óptimo del 99,96%, esto se debe a que el sistema es robusto y tolerante a fallas. Los convertidores, transmisores y válvulas de control también arrojaron resultados óptimos por encima del 90%, típico de estos instrumentos.

- El análisis de optimización costo riesgo, permitió determinar el punto óptimo de frecuencia de intervención, considerando el nivel de riesgo y la cantidad adecuada de mantenimiento. Para el caso de los HPM, se obtuvo un valor teórico de 34 meses y el valor recomendado por el fabricante es de 36 meses. En conclusión el resultado esta ajustado a la práctica. En la tabla 4.40, de la sección 4.6.5 del capítulo IV, se aprecia un resumen de los resultados del análisis OCR para los instrumentos, donde refleja datos importantes como la frecuencia de mantenimiento propuesta para cada equipo en función de su criticidad. Se estableció inspecciones cada 6 meses para equipos críticos, un año para equipos de media criticidad y la aplicación de mantenimiento correctivo para los de baja criticidad. Esto se refleja como ahorro potencial por equipo de aproximadamente dos millones de bolívares en promedio.
- La automatización de la gestión se realizó a través del software SIGMA, con la ubicación y ruta de los equipos que conforman el TDC-3000, así como el análisis OCR para determinar la frecuencia de intervención, implementando registro de actividades de inspección, administración de recursos humano, materiales y apoyando la toma de decisiones. Se estableció los niveles de mantenimiento para los equipos según la norma COVENIN 18-1001, con el objeto de definir las acciones de mantenimiento, así como la elaboración de formatos para realizar el procedimiento de evaluación e inspección de los HPM y de la instrumentación.



Recomendaciones

- Se recomienda continuar con las políticas de mantenimiento que éste proyecto inició, para realizar una serie de procesos de mejoramiento continuo, que optimice la gestión, planeación, ejecución y control de la productividad.
- El éxito de la implantación de las metodologías de confiabilidad dependerá fundamentalmente del recurso humano involucrado, motivo por el cual, hay que tener un especial cuidado en el proceso de inducción y en la formación del personal así como la motivación y generar el compromiso necesario para implantarla de forma eficiente.
- Se recomienda realizar el estudio de MCC, a todos los instrumentos críticos y medianamente críticos de la planta de FCC, ya que en el presente trabajo, solo se estudiaron los equipos que comprende el Reactor D-6101/02 y el Regenerador D-6102/03.
- Actualizar periódicamente el AMEF, con nuevos modos de falla ocurridos y que no se encuentran listados.
- Se recomienda para el estudio del MCC, poner en práctica los formatos de inspección y de fallas, previamente adiestrar a los instrumentistas en su utilización, para lograr una data de falla confiable y obtener indicadores confiables.
- Para los activos críticos y medianamente críticos, deben estar disponibles las suficientes piezas de repuesto para asegurar que las reparaciones se puedan terminar con la interrupción mínima de la producción. Los activos con un grado bajo de criticidad deben ser mantenidos en inventarios niveles mínimos de piezas de repuesto.



BIBLIOGRAFÍA

B
I
B
L
I
O
G
R
A
F
Í
A



Referencias Bibliográficas.

1. Manual y Descripción del Proceso de La Unidad de FCC. (2004). Venezuela PDVSA.- RELP.
2. Manual de Ingeniería de Programación. (2000). System Total Plant Solution (TPS). HONEYWELL.
3. Manual del Sistema AMS. (2009). Gerencia de Activos en Tiempo Real para Instrumentos (AMS).EMERSON Process Management. Venezuela. PDVSA-RELP.
4. Protocolo de Comunicación. Hart Communication Fundación. Disponible: <http://www.hart.com.org/>.
5. Protocolo Field bus. Foundation Field bus. Disponible: <http://www.fieldbus.com/>.
6. Gutiérrez J. (2006). Mantenimiento Planificado y Programado. Colombia, Universidad Politécnica.
7. Vallés L. (2004). Ingeniería de Confiabilidad. Venezuela, Universidad de Carabobo.
8. Créus A. (2005). Fiabilidad y Seguridad de Procesos Industriales. Editorial Marcombo. España.
9. Reliability Engineering and Weibull. Disponible: <http://www.weibull.com/>



10. Rodrigo P. (2002). Gestión Moderna del Mantenimiento. Santiago de Chile. Universidad de Chile.

11. Javier A. (2006).Curso de Confiabilidad Operacional Para La Industria de Petróleo y Gas. ABS Consulting. Venezuela .PDVSA-RELP.

12. Milano T. (2007) Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial. Editorial PANAPO. Venezuela-Caracas.

13. Milano T. (2008).Curso de Mantenimiento Mayor y Menor. Asset Total Output CA. Venezuela. PDVSA-RELP.

14. Contreras J. (2008).Curso de mantenimiento Centrado en confiabilidad. Combustión, Energía & Ambiente CA. Venezuela. PDVSA-RELP.

15. Manual de Procesos de programación del SIGMA. (2005). Venezuela. PDVSA-RELP.

16. Norma Venezolana. (1993). Manual para Evaluar los Sistemas de Mantenimiento de La Industria. COVENIN: 2500-93.

17. Norma Venezolana. (1993). Mantenimiento y Definiciones. COVENIN: 3049-93.

18. Offshore Reliability Data. (2002).OREDA. Editorial SINTEF. USA.

19. Amendola L. (2005). Modelos Mixtos de Confiabilidad. España, UPV.



APENDICE A

A
P
E
N
D
I
C
E

TOPOLOGÍA DE LA RED LCN

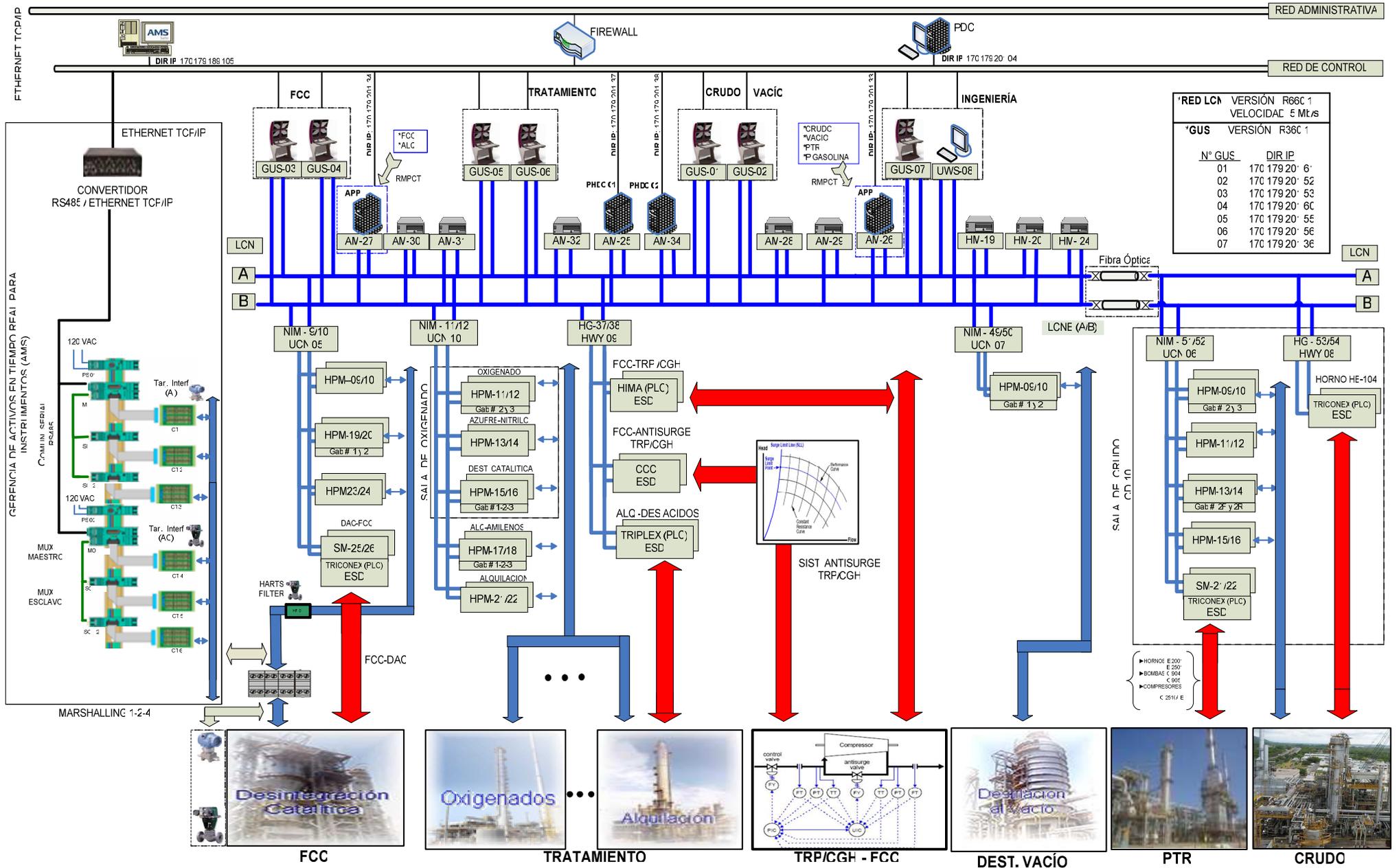


Figura A 1 Topología actualizada del sistema TDC-3000 Fuente propia

Tabla A.2.1 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas FTA.



Tarjetas FTA'S HLAI Instaladas

UCN	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMIHT	NÚMEROS DE PARTE	TOTAL
HPM 09/10	4 2	51304337-100 51304337-200	(GAB#2): 4 (GAB#3): 2	51304718-175 51304718-175	(GAB#1): 1 5 (GAB#2): 7	51304337-150 51304718-175 51304718-175	-----	-----	
11/12	-----	-----	7 1	51304718-175 51304337-200	-----	-----	(GAB#2): 10 (GAB#3): 8	51304337-200 51304337-200	
13/14	-----	-----	(GAB#2F): 9 (GAB#2R): 5	51304718-175 51304718-175	-----	-----	0	-----	
15/16	-----	-----	10	51304718-175	-----	-----	(GAB#1): 4 (GAB#2): 2 (GAB#3): 2	51304337-100 51304337-150 51304718-175	
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	(GAB#1): 1 8 (GAB#2): 7 (GAB#3): 2 2	51304337-150 51304718-175 51304718-175 51304337-250 51304718-175	
19/20	(GAB#1): 1 9 (GAB#2): 7	51304337-150 51304718-175 51304718-175	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	6	51304718-175	
23/24	5	51304718-175	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	28	-----	30	-----	13	-----	52	-----	131

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MU-TAIH12	51304337-100	8	207091	1
MC-TAIH12	51304337-150	5	391020	1
MU-TAIH52	51304337-200	21	321622	0
MC-TAIH52	51304337-250	2	-----	0
MC-TAIH13	51304718-175	95	207208	1

Fuente propia

Tabla A.2.2 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas FTA.



Tarjetas FTA'S AO Instaladas

UCN	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMINT	NÚMEROS DE PARTE	TOTAL
HPM 09/10	2 1 2	51304335-200 51304335-100 51204172-175	(GAB#1): 0 (GAB#2): 3 (GAB#3): 6 1	----- 51304638-525 51304638-575 51309540-175	(GAB#2): 7	51309540-175	-----	-----	
11/12	-----	-----	1	51309540-175	-----	-----	(GAB#2): 12 (GAB#3): 0	51304335-200 -----	
13/14	-----	-----	(GAB#2F): 6 (GAB#2R): 0	51309540-175	-----	-----	(GAB#5): 6	51304335-200	
15/16	-----	-----	5	51309540-175	-----	-----	(GAB#2): 4 1 (GAB#3): 1	51304638-575 51304335-175 51304335-175	
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	(GAB#1): 0 (GAB#2): 6 (GAB#3): 3	----- 51309540-175 51304638-575	
19/20	(GAB#1): 0 (GAB#2): 5	----- 51309540-175	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	2	51309540-175	
23/24	2	51309540-175	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	12	-----	22	-----	07	-----	35	-----	76

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MU-TAOX12	51304335-100	01	26471	0
MC-TAOX12	51304335-175	02		
MU-TAOX52	51304335-200	20	-----	-----
MC-TAOY22	51204172-175-D	02	708412	0
MU-GAOX12	51304638-575-L	16	581070	0
MC-GHA011	51309540-175	37	668477	1

Fuente propia

Tabla A.2.3 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas FTA.



Tarjetas FTA'S DI Instaladas

UCN	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMIHT	NÚMEROS DE PARTE	TOTAL
HPM 09/10	2 1	51304441-175 51304441-225	(GAB#1): 3 (GAB#2): 0 (GAB#3): 0	51304441-125 ----- -----	(GAB#1): 2 (GAB#2): 0	51304640-175	----- -----	----- -----	
11/12	-----	-----	4	51204160-175	-----	-----	(GAB#2): 0 (GAB#3): 0	----- -----	
13/14	-----	-----	(GAB#2F): 0 (GAB#2R): 0	-----	-----	-----	(GAB#4): 8 (GAB#5): 4	51304441-225 51303928-100	
15/16	-----	-----	0	-----	-----	-----	(GAB#1): 4 (GAB#2): 0 (GAB#3): 1	51304441-125 ----- 51304441-125	
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	(GAB#1): 1 (GAB#2): 0 (GAB#3): 3	51304728-175 ----- 51304441-125	
19/20	(GAB#1): 3 2 (GAB#2): 0	51304728-175 51304640-175 -----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	2	51204160-175	
23/24	3	51204160-175	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	11	-----	07	-----	02	-----	23	-----	43

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MC-TID12	51304441-175-L	02	66842	0
MU-TDID52	51304441-225-J	09	-----	-----
MU-TDID12	51304441-125-J	11		
MU-TDID72	51303928-100	04	427576	0
MC-GDID12	51304640-175	04	708407	0
MC-TDIY22	51204160-175	09	605441	0
MC-GDID13	51304728-175	04	708409	0

Fuente propia

Tabla A.2.4 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas FTA.



Tarjetas FTA'S DO Instaladas

UCN	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMIHT	NÚMEROS DE PARTE	TOTAL
HPM 09/10	1 1	51304650-100 51304446-100	(GAB#1): 1 (GAB#2): 0 (GAB#3): 0	51304650-100 ----- -----	(GAB#1): 0 (GAB#2): 0	-----	-----	-----	
11/12	-----	-----	1	51304650-100	-----	-----	(GAB#2): 0 (GAB#3): 0	----- -----	
13/14	-----	-----	(GAB#2F): 0 (GAB#2R): 0	-----	-----	-----	(GAB#4R): 9 2 (GAB#5): 0	51304443-100 51304446-200 -----	
15/16	-----	-----	0	-----	-----	-----	(GAB#1): 2 (GAB#2): 0 (GAB#3): 1	51304650-100 ----- 51309148-125	
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	(GAB#1): 1 (GAB#2): 0 (GAB#3): 1	51304446-175 ----- 51304650-100	
19/20	(GAB#1): 0 (GAB#2): 1	----- 51304446-250	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1	51204162-175	
23/24	1	51204162-175	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	04	-----	02	-----	00	-----	17	-----	23

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MU-TDOD13	51304650-100	06	207211	1
MU-TDOR12	51304443-100	09	-----	----
MU-TDON12	51304446-100	01	-----	-----
MU-TDOR12	51309148-125	01	206972	01
MC-TDOY22	51204162-175	02	668445	0
MC-TDON52	51304446-250	01	581075	0
MU-TDON52	51304446-200	02	-----	-----

Fuente propia

Tabla A.2.5 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas FTA.



Tarjetas FTA'S LLMUX Instaladas

UCN	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMINT	NÚMEROS DE PARTE	TOTAL
HPM 09/10	2	51401491-100	(GAB#1): 1 (GAB#2): 0 (GAB#3): 0	51309223-175 ----- -----	(GAB#1): 0 (GAB#2): 0	-----	-----	-----	
11/12	-----	-----	0	-----	-----	-----	(GAB#2): 0 (GAB#3): 9	----- 51401491-100	
13/14	-----	-----	(GAB#2F): 0 (GAB#2R): 0	-----	-----	-----	(GAB#4R): 0 (GAB#5): 0	----- -----	
15/16	-----	-----	0	-----	-----	-----	(GAB#1): 3 (GAB#2): 0 (GAB#3): 0	51401491-100 ----- -----	
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	(GAB#1): 0 (GAB#2): 0 (GAB#3): 2	----- ----- 51309223-175	
19/20	(GAB#1): 0 (GAB#2): 0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0	-----	
23/24	0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	02	-----	01	-----	00	-----	14	-----	17

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MC-TAMT03	51309223-175	03	370327	0
MU-TAMT02	51401491-100	14	207212	1

Fuente propia

Tabla A.2.6 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas IOP.



Tarjetas IOP-HLAI Instaladas

UCN HPM	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMIHT	NÚMERO S DE PARTE	TOTAL
09/10	6 _{16_2R}		13 _{16_5R}		20 _{16_7R}		-----	-----	
11/12	-----	-----	9 _{16_5R}		-----	-----	15 _{16_5R}		
13/14	-----	-----	26 _{16_6R}		-----	-----	11 _{16_4R}		
15/16	-----	-----	15 _{16_5R}		-----	-----	15 _{16_5R}		
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	28 _{16_8R}		
19/20	23 _{16_6R}		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	8 _{16_2R}		
23/24	7 _{16_2R}		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	36_{16_10R}		63_{16_21R}		20_{16_7R}		77_{16_24R}		196_{16_62R}

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MC-PAIH03	51304754-150	-----	369638	03
MU-PAIH03	51304754-100	-----	26469	02

XX_{YY}ZZ
 ↑ ↑ ↑
 # TARJ # (I / O)
 # TARJ / RESPALDO

Tabla A.2.7 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas IOP.



Tarjetas IOP-STIM Instaladas

UCN HPM	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMIHT	NÚMERO S DE PARTE	TOTAL
09/10	4 _{16_2R}		0 _{0_0R}		0 _{0_0R}		-----	-----	
11/12	-----	-----	0 _{0_0R}		-----	-----	0 _{0_0R}		
13/14	-----	-----	0 _{0_0R}		-----	-----	1 _{16_0R}		
15/16	-----	-----	0 _{0_0R}		-----	-----	0 _{0_0R}		
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0 _{0_0R}		
19/20	0 _{0_0R}		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0 _{0_0R}		
23/24	0 _{0_0R}		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	4_{16_2R}		0_{0_0R}		0_{0_0R}		1_{16_0R}		5_{16_2R}

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MC-PSTX03	51304516-250	05	206962	02

Tabla A.2.8 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas IOP.



Tarjetas IOP-AO Instaladas

UCN HPM	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMIINT	NÚMERO S DE PARTE	TOTAL
09/10	6 _08_3R 4 _16_2R	51309152-175	16 _08_8R 2 _16_1R		14_16_7R		-----	-----	
11/12	-----	-----	2 _16_1R		-----	-----	16_08_8R		
13/14	-----	-----	12_16_6R		-----	-----	12_08_6R		
15/16	-----	-----	10_16_5R		-----	-----	10_08_5R		
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	06 _08_3R 12 _16_6R		
19/20	10_16_5R		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	4 _16_2R		
23/24	4_16_2R		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	6_08_03R 18_16_09R		16_08_8R 26_16_13R		14_16_07R		44_08_22R 16_16_08R		66_08_33R 74_16_37R

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MC-PAOY22	80363969-150	74	-----	-----
MC-PAOX03	51309152-175	66	463748	03

Fuente propia.

Tabla A.2.9 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas IOP.



Tarjetas IOP-DO Instaladas

UCN HPM	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMIHT	NÚMERO S DE PARTE	TOTAL
09/10	2_16_OR		1_16_OR		0_16_OR		-----	-----	
11/12	-----	-----	1_16_OR		-----	-----	9_16_OR		
13/14	-----	-----	0_16_OR		-----	-----	2_16_OR		
15/16	-----	-----	0_16_OR		-----	-----	3_16_OR		
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	2_16_OR		
19/20	1_16_OR		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1_32_OR		
23/24	1_32_OR		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	03_16_OR 01_32_09R		02_16_OR		0_16_OR		16_16_OR 01_32_OR		21_16_OR 02_32_OR

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MC-PDOX02	51304487-250	21	207221	0
MC-PDOY22	80363975-150	02	391024	0

Fuente propia

Tabla A.2.10 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas IOP.



Tarjetas IOP-LLMUX Instaladas

UCN HPM	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMINT	NÚMERO S DE PARTE	TOTAL
09/10	01_32_0R		01_32_0R		00_32_0R		-----	-----	
11/12	-----	-----	0_32_0R		-----	-----	03_32_0R		
13/14	-----	-----	07_32_0R		-----	-----	01_32_0R		
15/16	-----	-----	0_32_0R		-----	-----	02_32_0R		
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	04_32_0R		
19/20	04_32_0R		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	00_32_0R		
23/24	02_32_0R		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	07_32_0R		08_32_0R		0_32_0R		10_32_0R		25_32_0R

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MU-PLAM02	51304362-100	25	207014	-----
MC-PLAM02	51304362-150	0	405724	-----

Fuente propia

Tabla A.2.11 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas IOP.



Tarjetas IOP-DISOE Instaladas

UCN HPM	05 Conversión C I/O R	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMIHT	NÚMERO S DE PARTE	TOTAL
09/10	03_32_0R		00_32_0R		00_32_0R		-----	-----	
11/12	-----	-----	00_32_0R		-----	-----	00_32_0R		
13/14	-----	-----	00_32_0R		-----	-----	00_32_0R		
15/16	-----	-----	00_32_0R		-----	-----	00_32_0R		
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	01_32_0R		
19/20	00_32_0R		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	00_32_0R		
23/24	00_32_0R		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	03_32_0R		00_32_0R		00_32_0R		01_32_0R		04_32_0R

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MU-PDIS12	51402625-175	04	622028	00
MU-PDIS12	51402625-175	----	391043	01

Tabla A.2.12 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas IOP.



Tarjetas IOP-DI Instaladas

UCN HPM	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMIHT	NÚMERO S DE PARTE	TOTAL
09/10	00_32_0R		03_32_0R		02_32_0R		-----	-----	
11/12	-----	-----	04_32_0R		-----	-----	08_32_0R		
13/14	-----	-----	04_32_0R		-----	-----	03_32_0R		
15/16	-----	-----	00_32_0R		-----	-----	04_32_0R		
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	03_32_0R		
19/20	05_32_0R		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	02_32_0R		
23/24	03_32_0R		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	08_32_0R		11_32_0R		02_32_0R		20_32_0R		41_32_0R

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MC-PDIX02	51304485-150	41	61735	01

Fuente propia

Tabla A.2.13 Hoja de inventario de especificaciones técnicas tarjetas IOP.



Tarjetas IOP-SI Instaladas

UCN HPM	05 Conversión	NÚMEROS DE PARTE	06 Dest y Esp	NÚMEROS DE PARTE	07 VACÍO	NÚMEROS DE PARTE	10 TRATAMIHT	NÚMERO S DE PARTE	TOTAL
09/10	00_xx_OR		00_xx_OR		00_xx_OR		-----	-----	
11/12	-----	-----	00_xx_OR		-----	-----	00_xx_OR		
13/14	-----	-----	00_xx_OR		-----	-----	00_xx_OR		
15/16	-----	-----	00_xx_OR		-----	-----	00_xx_OR		
17/18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	00_xx_OR		
19/20	00_xx_OR		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
21/22	-----	-----	-----	-----	-----	-----	01_xx_OR		
23/24	00_xx_OR		-----	-----	-----	-----	-----	-----	
TOTAL	00_xx_OR		00_xx_OR		00_xx_OR		01_xx_OR		01_xx_OR

MODELO	# PARTE	CANT	SAP	STOCK
MU-PSIM11	51304362-300	01	391054	----

Fuente propia



APENDICE B

A
P
E
N
D
I
C
E

Tabla B.1 Jerarquización de criticidad de los instrumentos del Regenerador D-6103/04

EQUIPO	INSTRUM (TAG)	DTI 6100	Rata de falla (Fallas/año)	MTRR (horas)	Flexib Op. (FO)	Nivel de Sever (NS)	Impacto Repar (IPR)	Impact SHA (ISHA)	Consecuencia (FO*NS+IPR+ISHA)	Nivel Ocurre (NO) Frecuencia	Jerarq (1-200)	Criticid
D-6103/04	61-TT-02	1-50-0008	0,9	3,5	4	7	2	4	34	3	102	C
D-6103/04	61-PDT-17	1-50-0008	0.5-1.5	5	4	7	2	5	35	2	70	C
D-6103/04	61-PDT-23	1-50-0008	0.5-1.5	5	4	7	2	5	35	2	70	C
D-6103/04	61-PT-15	1-50-0008	0.5-1.5	5	4	7	2	5	35	2	70	C
D-6103/04	61-TV-02	1-50-0008	0,2-0,9	17	4	7	2	4	34	2	68	C
D-6103/04	61-TV-01	1-50-0008	0,2-0,9	17	4	7	0	4	32	2	64	C
D-6103/04	61-HV-14	1-50-0008	0,2-0,9	17	2	7	2	4	20	3	60	MC
D-6103/04	61-TT-01	1-50-0008	0,9	3,5	2	7	2	4	20	3	60	MC
D-6103/04	61-TT-102	1-50-0008	0,9	3,5	2	4	2	4	14	3	42	MC
D-6103/04	61-TT-103	1-50-0008	0,9	3,5	2	4	2	4	14	3	42	MC
D-6103/04	61-LT-03	1-50-0008	0,03-2	6	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6103/04	61-ZT-01	1-50-0008	0,5	4	4	7	0	3	31	1	31	MC
D-6103/04	61-DT-02	1-50-0008	0,5	4	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6103/04	61-FT-02	1-50-0008	0,5-2	4	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6103/04	61-HV-13	1-50-0008	0,2-0,9	17	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6103/04	61-HY-13	1-50-0008	0,5	4	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6103/04	61-HY-14	1-50-0008	0,5	4	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6103/04	61-PDT-178	1-50-0008	0.5-1.5	5	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6103/04	61-PDT-25	1-50-0008	0.5-1.5	5	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6103/04	61-TY-01	1-50-0008	0,5	4	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6103/04	61-ZY-01	1-50-0008	0,5	4	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6103/04	61-TY-02B	1-50-0008	0,5	4	4	2	2	4	14	1	14	BC

**JERARQUIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN CRÍTICA DEL EQUIPO REGENERADOR D-6103/04
DE LA UNIDAD DE FCC**

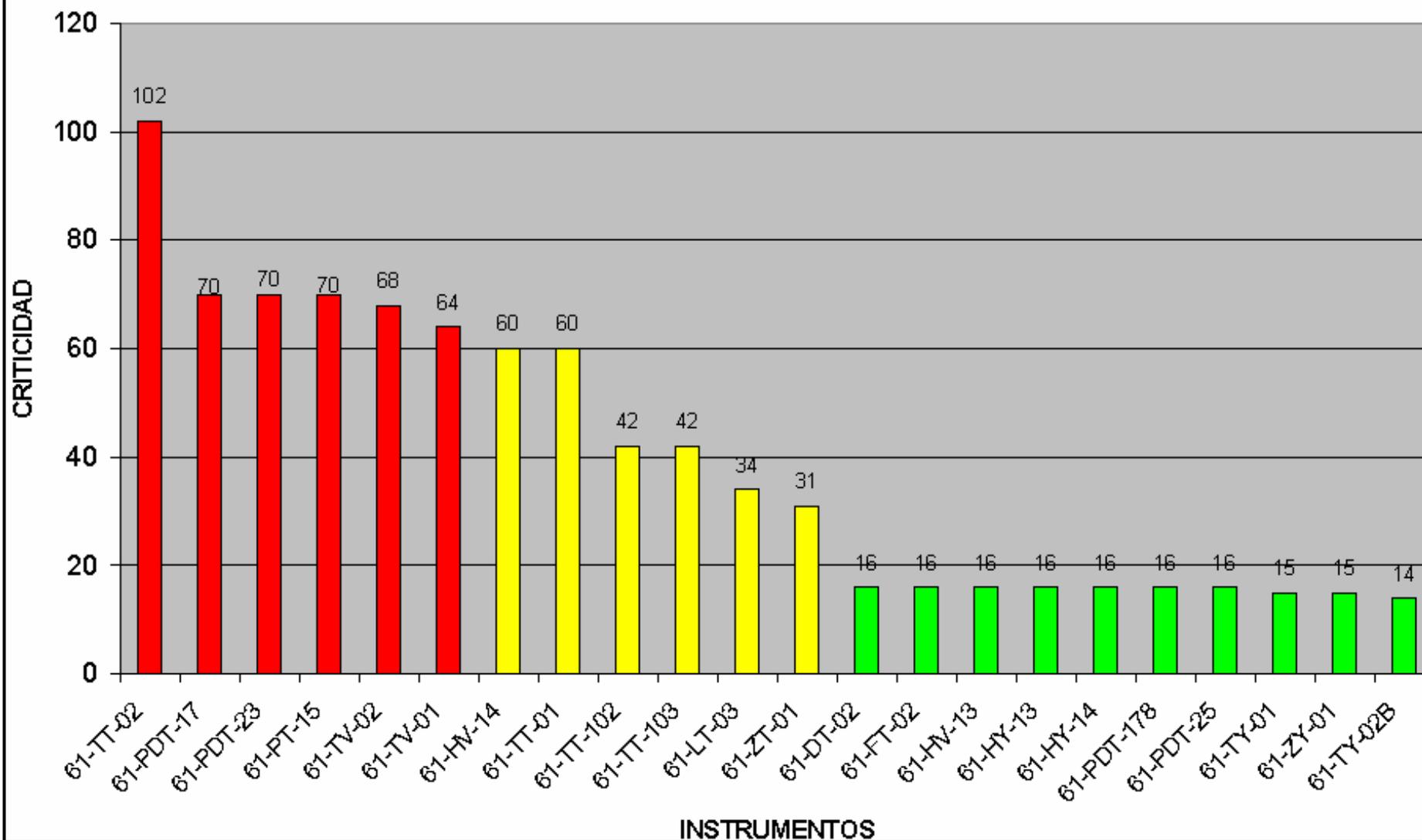


Figura B.2 Gráfico representativo de la criticidad de los instrumentos del Regenerador D-6103/04

Tabla B.3 Resultados de criticidad de los instrumentos que conforman el Reactor D-6101/02

EQUIPO	INSTRUM (TAG)	DTI 6101	Rata de falla (Fallos/año)	MTTR (horas)	Flexib Op. (FO)	Nivel de Sever (NS)	Impacto Repar (IPR)	Impact SHA (ISHA)	Consecuencia (FO*NS+IPR+ISHA)	Nivel Ocurre (NO) Frecuencia	Jerarq (1-200)	Criticid
D-6102	61-LT-04	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	3	102	C
D-6102	61-PDIT-29	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	3	102	C
D-6102	61-PDIT-34	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	3	102	C
D-6102	61-PDT-26	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	3	102	C
D-6102	61-LV04	1-50-0009	0,2-0,9	5-20	4	7	2	5	35	2	70	C
D-6102	61-FV05	1-50-0009	0,2-0,9	5-20	4	7	2	4	34	2	68	C
D-6102	61-FV05C	1-50-0009	0,2-0,9	5-20	4	7	2	4	34	2	68	C
D-6102	61-FV06	1-50-0009	0,2-0,9	5-20	4	7	2	4	34	2	68	C
D-6102	61-HV02A	1-50-0009	0,13	5-20	4	7	2	4	34	2	68	C
D-6102	61-HV02B	1-50-0009	0,13	5-20	4	7	2	4	34	2	68	C
D-6102	61-HV02C	1-50-0009	0,13	5-20	4	7	2	4	34	2	68	C
D-6102	61-TV03	1-50-0009	0,2-0,9	5-20	4	7	2	4	34	2	68	C
D-6102	61-TT-03	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	2	68	C
D-6102	61-PDT-01	1-50-0009	0,03-2	1-8	2	7	2	4	20	2	40	MC
D-6102	61-FV13	1-50-0009	0,2-0,9	5-20	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-FV96	1-50-0009	0,2-0,9	5-20	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-FV97	1-50-0009	0,2-0,9	5-20	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-FV98	1-50-0009	0,2-0,9	5-20	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-FV99	1-50-0009	0,2-0,9	5-20	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-139A	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-139B	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-139C	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-139D	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-139E	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-139F	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-140A	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-140B	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-140C	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-140D	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-140E	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-140F	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-141A	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-141B	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-141C	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-141D	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-141E	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-PDT-141F	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-TY-307A	1-50-0009	0,2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-TY-307B	1-50-0009	0,2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC
D-6102	61-TY-307C	1-50-0009	0,2	1-8	4	7	2	4	34	1	34	MC

Tabla B.4 (Continuación) resultados de criticidad de los instrumentos que conforman el Reactor D-6101/02

EQUIPO	INSTRUM(TAG)	DTI 6101	Rata de falla (Fallas/año)	MTTR (horas)	Flexib Op. (FO)	Nivel de Sever (NS)	Impacto Repar (IPR)	Impact SHA (ISHA)	Consecuencia (FO*NS+IPR+ISHA)	Nivel Ocurr (NO) Frecuencia	Jerarq (1-200)	Criticid
D-6102	61-FY-05	1-50-0009	0,5	1-8	2	7	2	4	20	1	20	BC
D-6102	61-XV-02A	1-50-0009	0,2-0,4	5-20	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6102	61-XV-02B	1-50-0009	0,2-0,4	5-20	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6102	61-XV-02BB	1-50-0009	0,2-0,4	5-20	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6102	61-XY-02	1-50-0009	0,2-0,4	5-20	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6102	61-FT-13	1-50-0009	0,03-2	1-8	2	2	0	4	8	2	16	BC
D-6102	61-FY-05A	1-50-0009	0,5	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-FY-05B	1-50-0009	0,5	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-FY-05C	1-50-0009	0,5	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-FY-06	1-50-0009	0,5	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-FY-06A	1-50-0009	0,5	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-FY-13	1-50-0009	0,5	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-FY-96	1-50-0009	0,5	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-FY-97	1-50-0009	0,5	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-FY-98	1-50-0009	0,5	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-FY-99	1-50-0009	0,5	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-PDT-159B	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-PDT-159C	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-PDT-159D	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-PDT-159E	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-PDT-159F	1-50-0009	0,03-2	1-8	4	2	2	5	15	1	15	BC
D-6102	61-LY-04B	1-50-0009	0,5	1-8	4	2	2	4	14	1	14	BC
D-6102	61-TY-03B	1-50-0009	0,2	1-8	4	2	2	4	14	1	14	BC

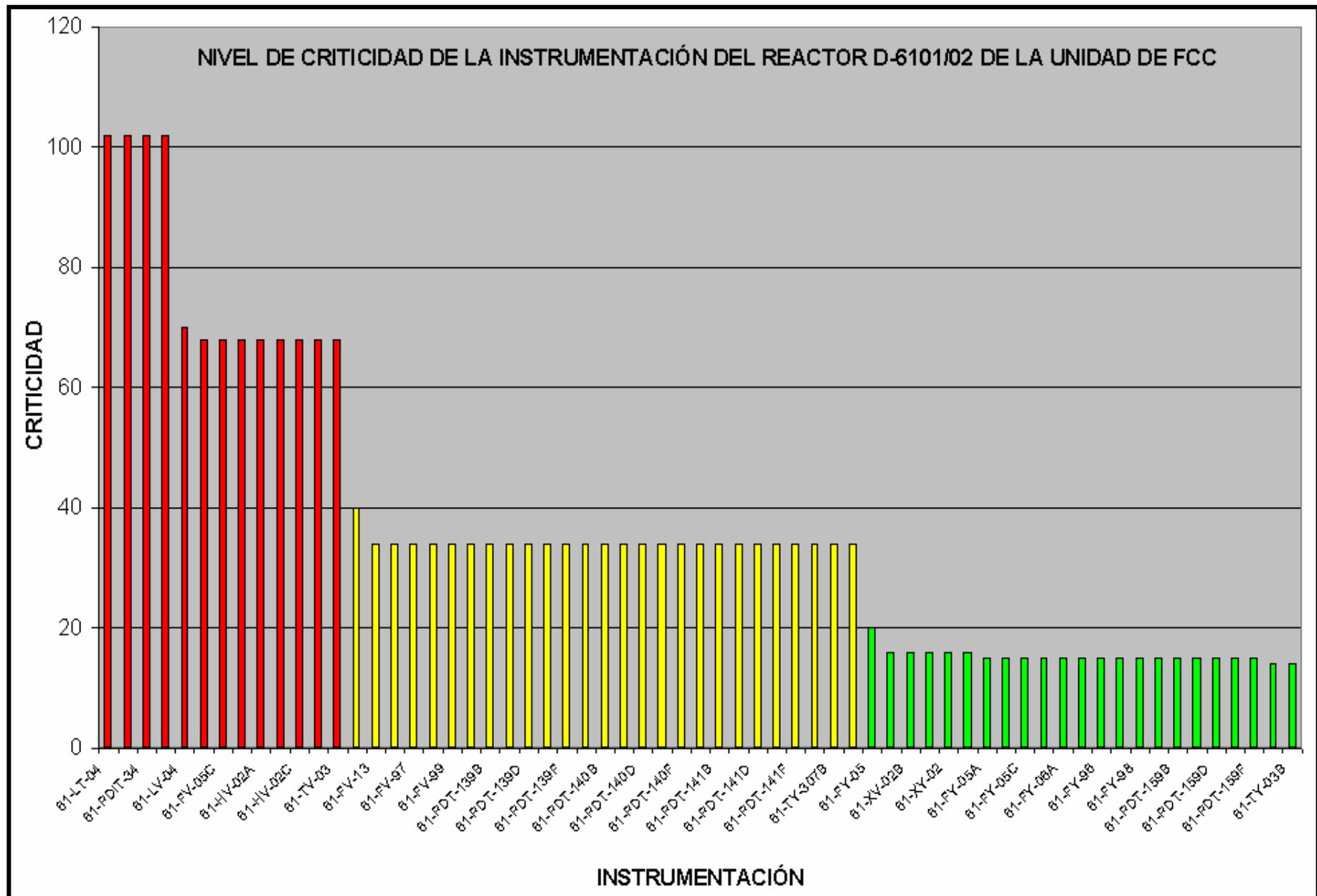


Figura B.5 Gráfico representativo de la criticidad de los instrumentos del Reactor D-6101/02



APENDICE C

A
P
E
N
D
I
C
E

Tabla C.1 AMEF para medios de transmisión en instrumentación.

HOJA DE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

Area		Instrumentación					
Componente	Función	Descripción de la función	Falla funcional	Modos de fallas	Cod	Causas	Acciones de Mantenimiento
Medio de transmisión	Principal	Conducir la señal producida por el transmisor hacia el sistema de supervisión	No conduce señal	Ruptura del cable	FTF	Ruptura mecánica del medio de transmisión	Reemplazar, Modificar
						Falla de aislamiento en el cable	Reemplazar
						Obstrucción en la línea de transmisión neumática	Reemplazar , Reparar, Modificar, Servicio
						Ausencia de conexión en el transmisor	Chequear, Ajustar, Reparar
						Ausencia de conexión en caja de conexiones	Chequear, Ajustar, Reparar
						Ausencia de conexión en el sistema de supervisión	Chequear, Ajustar, Reparar
			Degradación del medio	Señal errática	ERO	Falso contacto en conexión eléctrica	Chequear, Ajustar, Reparar
						Desajuste de borneras	Reemplazar , Reparar, Modificar
						Inundación de bancadas eléctricas	Chequear, Reparar
						Falla de aislamiento en el cable	Chequear, Reparar
						Fuga en el sistema de transmisión neumática	Reparar, Probar, Chequear
						UNK	Otros	Chequear
Tomas de proceso	Principal	Permitir la conexión entre el proceso y el instrumento.	No conduce señal	Ausencia de conexión	FTF	Taponamiento de las tomas del instrumento al proceso	Servicio, Inspección
						Válvulas de bloqueo obstruidas	Servicio, Inspección
						Válvulas de bloqueo cerradas	Chequear

Fuente propia

Tabla C.2 AMEF para sensor y trasmisor en instrumentación.

HOJA DE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

Area		Instrumentación						
Componente	Función	Descripción de la función	Falla funcional	Modos de fallas	Cod	Causas	Acciones de Mantenimiento	
Sensor /Trasmisor	Principal		Degradación de señal	Salida errática	ERO	Operación intermitente	Chequear, Reparar	
						Falso contacto en conexión eléctrica	Reajustar, Chequear, Reparar	
						Variaciones en el suministro eléctrico	Ajustar, Chequear, Reparar	
						Variaciones en el suministro neumático	Ajustar, Chequear, Reparar	
					UNK	Otros	Chequear	
					Salida Alta	AOH	Inapropiado nivel de suministro eléctrico	Ajustar, Reparar, Servicio
							Inapropiado nivel de suministro neumático	Ajustar, Reparar, Servicio
						UNK	Desajuste de cero en la calibración del instrumento	Ajustar, Reajustar, Servicio
							Desajuste del rango de calibración del instrumento	Ajustar, Reajustar, Servicio
				Degradación de componentes referentes al sensor y transductor			Probar, Chequear, Reparar, Servicio	
				UNK		Otros	Chequear	
				Salida Baja	AOL	Inapropiado nivel de suministro eléctrico	Ajustar, Reparar, Servicio	
						Inapropiado nivel de suministro neumático	Ajustar, Reajustar, Servicio	
					UNK	Desajuste de cero en la calibración del instrumento	Ajustar, Reajustar, Servicio	
						Desajuste del rango de calibración del instrumento	Ajustar, Reajustar, Servicio	
						Degradación de componentes referentes al sensor y transductor	Probar, Chequear, Reparar, Servicio	
					UNK	Otros	Chequear	

Fuente propia

Tabla C.3 AMEF para convertidor P/I en instrumentación

HOJA DE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

Area		Instrumentación					
Componente	Función	Descripción de la función	Falla funcional	Modos de fallas	Cod	Causas	Acciones de Mantenimiento
Convertidor neumático / eléctrico	Principal	Transformar una señal neumática en una señal eléctrica equivalente	No convierte señal	Ausencia de señal	FTF	Falla del transductor	Reemplazar
						Falla en la tarjeta del transmisor	Reemplazar , Reparar, Modificar
						Falla del suministro eléctrico	Chequear
						Falla en el cable	Chequear
					UNK	Otros	Chequear
				Salida máxima > 100%	FTF	Falla del transductor	Reemplazar
					UNK	Otros	Chequear
					Cambios en la entrada no se reflejan a la salida	FTF	Falla del transductor	Reemplazar
				UNK		Otros	Chequear
				Degradación de señal	Salida errática	ERO	Operación intermitente	Chequear, Reparar
			Falso contacto en conexión eléctrica				Reajustar, Chequear, Reparar
			Variaciones en el suministro eléctrico				Ajustar, Chequear, Reparar, Servicio
			UNK			Otros	Chequear
			Salida Alta		AOH	Inapropiado nivel de suministro eléctrico	Ajustar, Reparar, Servicio
						Desajuste de cero en la calibración del instrumento	Ajustar, Reajustar, Servicio
						Desajuste del rango de calibración del instrumento	Ajustar, Reajustar, Servicio
						Degradación de componentes referentes al sensor y transductor	Probar, Chequear, Reparar, Servicio
					UNK	Otros	Chequear
			Salida Baja		AOL	Inapropiado nivel de suministro eléctrico	Ajustar, Reparar, Servicio
				Desajuste de cero en la calibración del instrumento		Ajustar, Reajustar, Servicio	
Desajuste del rango de calibración del instrumento	Ajustar, Reajustar, Servicio						
Degradación de componentes referentes al sensor y transductor	Probar, Chequear, Reparar, Servicio						
UNK	Otros	Chequear					

Fuente propia

Tabla C.4 AMEF para controlador de proceso en instrumentación

HOJA DE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

Area		Instrumentación					
Componente	Función	Descripción de la función	Falla funcional	Modos de fallas	Cod	Causas	Acciones de Mantenimiento
Controlador	Principal	Mantener la variable de proceso dentro de los límites prefijados	Pérdida del control de la variable	Salida de Control > 100 %		Falla en módulo de entrada de señal	Chequear, Reemplazar, Reparar
						Falla en módulo de salida hacia elemento final de control	Chequear, Reemplazar, Reparar
						Falla en módulos de alimentación eléctrica	Chequear
						Falla del suministro neumático	Chequear
						Parámetros de entonación del lazo de control desajustados	Ajustar
						Controlador PID saturado (no tiene activada el antiwindup)	Modificar
						Falla en sensor/transmisor	Chequear
						Falla en medio de transmisión	Chequear
						Ausencia de señal a la entrada	Chequear
				Falla en el conjunto convertidor y elemento final de control	Chequear, Reemplazar, Reparar		
				Salida de Control < 0%		Falla en módulo de entrada de señal	Chequear, Reemplazar,
						Falla en módulos de alimentación eléctrica	Chequear
						Falla del suministro neumático	Chequear
						Falla en módulo de salida hacia elemento final de control	Chequear, Reemplazar, Reparar
						Parámetros de entonación del lazo de control desajustados	Ajustar
						Controlador PID saturado (no tiene activada el antiwindup)	Modificar
						Falla en sensor/transmisor	Chequear
						Falla en medio de transmisión	Chequear
						Ausencia de señal a la entrada	Chequear
				Falla en el conjunto convertidor y elemento final de control	Chequear, Reemplazar, Reparar		
				Salida de Control Congelada		Parámetros de entonación del lazo de control desajustados	Ajustar
Falla en módulo de entrada de señal	Chequear, Reemplazar,						
Falla en módulo de salida hacia elemento final de control	Chequear, Reemplazar, Reparar						
Controlador PID saturado (no tiene activada el antiwindup)	Modificar						
Falla en sensor/transmisor	Chequear						
Falla en medio de transmisión	Chequear						
Ausencia de señal a la entrada	Chequear						
Problemas en toma de procesos	Servicio, Inspección, Chequeo						
Otros	Chequear						

Fuente propia

Tabla C.4.1 continuación AMEF para controlador de proceso en instrumentación

HOJA DE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

Area		Instrumentación									
Componente	Función	Descripción de la función	Falla funcional	Modos de fallas	Cod	Causas	Acciones de Mantenimiento				
Controlador	Principal	Mantener la variable de proceso dentro de los límites prefijados	Desviaciones del Control	Salida de control errática		Parámetros de entonación del lazo de control desajustados	Ajustar				
						Elemento final de control sobredimensionado	Modificar				
						Falla de aislamiento en el cable	Reemplazar				
						Señal de entrada errática	Chequear, Reemplazar, Reparar				
						Falla intermitente en módulo de entrada	Chequear, Reemplazar, Reparar				
						Falla intermitente en sensor/transmisor	Chequear, Ajustar, Reparar				
						Falla intermitente en conexiones eléctricas y/o mecánicas	Reemplazar, Reparar, Modificar				
						Inundación de bancadas eléctricas	Chequear, Reparar				
						Falso contacto en conexión eléctrica	Reajustar, Chequear, Reparar				
						Fuga en el sistema de transmisión neumática	Reparar, Probar, Chequear				
						Variaciones en el suministro eléctrico	Ajustar, Chequear, Reparar, Servicio				
						Falla intermitente en módulo de salida hacia elemento final de control	Chequear, Reemplazar, Reparar				
						Ausencia de un buen plano de tierra	Chequear, Reemplazar, Reparar				
				Otros	Chequear						
				Respuesta lenta del lazo de control						Parámetros de entonación del lazo de control desajustados	Ajustar
										Falla en uno de los componentes del elemento final de control	Chequear, Reemplazar, Reparar
										Fuga en el sistema de transmisión neumática	Reparar, Probar, Chequear
										Otros	Chequear
				Salida de control alta						Falla en módulo de entrada de señal	Chequear, Reemplazar, Reparar
										Falla en módulo de salida hacia elemento final de control	Chequear, Reemplazar, Reparar
										Posible atascamiento u obstrucción en el elemento final de control	Chequear
										Falla en sensor/transmisor	Chequear
										Falla en medio de transmisión	Chequear
										Descalibración del posicionador	Ajustar
										Cambios en las condiciones de operación	Chequear
										Otros	Chequear

Fuente propia

Tabla C.5 AMEF para válvulas de control en instrumentación

HOJA DE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)						
Area	Instrumentación					
Componente	Función	Descripción de la función	Falla funcional	Modos de fallas	Cod	Causas
Válvula de Control	Principal	Controlar la variable de procesos dentro del valor predeterminado	No controla	Falla para regular	FTR	Señal de control inestable
					FTC	Falla en conexiones eléctricas
						Falla en el suministro de aire
						Falla en posicionador
						Atascamiento del tapón
						Inadecuada selección de válvula
						Incapacidad del actuador para mantener la posición de la válvula
						Cambio en las condiciones del servicio
					Ruptura de resorte	
					Falla en el diafragma o pistón de accionamiento	
					OTH	Otros
					UNK	Desconocido
					Salida Alta	PLU	Obstrucción parcial
				Cambio en las propiedades del fluido		
				Cambio en las condiciones de operación del proceso		
				Descalibración del posicionador		
				ELP			Fuga Externa de fluido
				OTH	Otros	
				UNK	Desconocido	
				Salida Baja	ELP	Cambio en las propiedades del fluido
						Cambio en las condiciones de operación del proceso
Descalibración del posicionador						
ELP	Fuga Externa de fluido					
OTH	Otros					
UNK	Desconocido					

Fuente propia

Tabla C.5.1 Continuación AMEF para válvulas de control en instrumentación

HOJA DE ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

Area		Instrumentación					
Componente	Función	Descripción de la función	Falla funcional	Modos de fallas	Cod	Causas	
Válvula de Control	Protección	Proveer capacidad de contención ante una condición anormal de proceso que requiere de una acción de cierre total	Incapacidad de realizar el cierre total	Falla a cierre en demanda		Falla en el suministro de aire	
						Falla en válvula solenoide	
						Falla en actuador y/o posicionador	
						Atascamiento	
						Ausencia de señal de control	
						Otros	
					Desconocido		
					Fuga en posición cerrada		Erosión
						Corrosión	
						Cavitación / Flashing	
						Desgaste	
						Inadecuada especificación de materiales	
						Cambios en la especificación y/o condiciones del servicio	
						Atascamiento	
						Deformación	
	Otros						
	Desconocido						

Fuente propia

Tabla C.5.2 Continuación AMEF para válvulas de control en instrumentación

HOJA DE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)													
Area		Instrumentación											
Componente	Función	Descripción de la función	Falla funcional	Modos de fallas	Cod	Causas	Acciones de Mantenimiento						
Válvula de Control	Protección	Proveer capacidad de desalojo adecuada cuando se requiere una aplicación de apertura total debido a una limitación en el proceso	No desaloja	Falla abierta en demanda		Falla en el suministro de aire	Chequear						
						Falla en válvula solenoide	Chequear						
						Falla en actuador y/o posicionador	Chequear, Reparar, Reemplazar						
						Atascamiento	Reparar, Ajustar						
						Taponamiento / Obstrucción	Reparar						
						Ausencia de señal de control	Chequear						
						Otros	Chequear						
						Insuficiente capacidad de desalojo	Obstrucción total o parcial				Acumulación de Coque	Reparar, Modificar	
											Acumulación de Asfalteno	Reparar, Modificar	
											Producto fuera de especificación	Chequear	
		Sólidos o partículas en suspensión	Chequear										
		Otros	Chequear										
		Realizar el corte, aislamiento de equipos o plantas y/o desalojo de fluido dada por una acción de seguridad del proceso	Degradación de función		Opera sin demanda			Falla en posicionador	Chequear, Reparar, Reemplazar				
								Falla en válvula solenoide	Chequear				
								Falla en suministro de aire	Chequear				
Falla en suministro eléctrico	Chequear												
Falla en conexiones eléctricas	Chequear, Ajustar												
Falla en conexiones neumáticas	Chequear, Ajustar												
Otros	Chequear												
Operación retardada												Rotura del resorte	Reemplazar
												Falla en posicionador y/o actuador	Chequear, Reparar, Reemplazar
												Fugas de aire en diafragma o pistón	Reparar, Reemplazar
		Actuador inadecuado para el servicio	Modificar										
		Retardo en la señal de control	Chequear, Ajustar										
Otros	Chequear												

Fuente propia

Tabla C.5.3 Continuación AMEF para válvulas de control en instrumentación

HOJA DE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

Area		Instrumentación						
Componente	Función	Descripción de la función	Falla funcional	Modos de fallas	Cod	Causas	Acciones de Mantenimiento	
Válvula de Control	Auxiliar	Mantener o contener el fluido dentro la válvula a las condiciones de operación (P ,T)	Incapacidad de contener el fluido	Fuga interna		Erosión	Reparar, Remplazar, Modificar	
						Corrosión	Reparar, Remplazar, Modificar	
						Cavitación / Flashing	Reparar, Remplazar, Modificar	
						Desgaste	Reparar, Remplazar, Modificar	
						Inadecuada especificación de	Modificar	
						Cambios en la especificación y/o condiciones del servicio	Chequear, Modificar	
						Atascamiento	Reparar, Ajustar	
						Deformación	Reparar, Ajustar, Remplazar	
						Otros	Chequear	
						Desconocido	Chequear	
						Deficiencia estructural	Sobrecalentamiento	Reparar, Remplazar, Modificar
							Vibración excesiva	Modificar
							Fatiga	Reparar, Remplazar, Modificar
	Material fuera de especificación	Modificar						
	Inadecuado diseño de soporte	Modificar						
	Inadecuada inspección / mto. / revamp / commissioning	Inspeccionar, Servicio, Modificar						
	Corrosión ambiental	Servicio, Inspección, Reparar. Remplazar						
	Problemas menores en	Inadecuada instalación	Modificar					
		Impacto/Explosión	Reparar, Remplazar					
		Otros	Chequear					
Desconocido		Chequear						
Información	Indicar la posición y/o porcentaje de apertura de la válvula	Indicación indaecuada o inexistente de la posición y/o apertura de	Lectura anormal de instrumento		Descalibración del posicionador	Ajustar		
					Falla en el posicionador	Chequear, Reparar,		
					Falla en el transmisor de posición	Chequear, Reparar,		
					Otros	Chequear		
					Desconocido	Chequear		

Fuente propia



APENDICE D

A
P
E
N
D
I
C
E

CONFIABILIDAD

- Equipo HPM:

Tabla D.1 Valores de confiabilidad vs. tiempo

Tiempo años	BD. Fabrica		BD. Planta
	$R(\lambda=0,1)$	$R(\lambda=0,33)$	$R(\lambda=0,88)$
0,0	1,000	1,000	1,0000
1,0	0,905	0,720	0,4300
2,0	0,812	0,510	0,1700
3,0	0,741	0,368	0,0714
4,0	0,668	0,264	0,0287
5,0	0,602	0,186	0,0116
6,0	0,549	0,136	0,0051
7,0	0,490	0,095	0,0020
8,0	0,446	0,067	0,0008
9,0	0,407	0,050	0,0004
10,0	0,366	0,035	0,0001
11,00	0,334	0,0260	0,0001
12,00	0,301	0,0180	0,0000

Fuente propia.

- Válvula de control:

Tabla D.2. Valores de confiabilidad vs. tiempo.

Tiempo años	BD.Genérica		BD. Planta	
	$R(\lambda=0,2)$	$R(\lambda=2,0)$	$R(\lambda=0,5)$	$R(\lambda=1,0)$
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000
0,5	0,905	0,368	0,779	0,607
1,0	0,819	0,135	0,607	0,368
1,5	0,741	0,050	0,472	0,223
2,0	0,670	0,018	0,368	0,135
2,5	0,607	0,007	0,287	0,082
3,0	0,549	0,002	0,223	0,050
3,5	0,497	0,001	0,174	0,030
4,0	0,449	0,000	0,135	0,018
4,5	0,407	0,000	0,105	0,011
5,0	0,368	0,000	0,082	0,007

Fuente propia.

- Transmisor diferencial de presión:

Tabla D.3. Valores de confiabilidad vs. tiempo

Tiempo años	BD. Genérico		BD. Planta
	$R(\lambda=0,5)$	$R(\lambda=1,5)$	$R(\lambda=1,0)$
0,0	1,000	1,000	1,000
0,5	0,779	0,472	0,607
1,0	0,607	0,223	0,368
1,5	0,472	0,105	0,223
2,0	0,368	0,050	0,135
2,5	0,287	0,024	0,082
3,0	0,223	0,011	0,050
3,5	0,174	0,005	0,030
4,0	0,135	0,002	0,018
4,5	0,105	0,001	0,011
5,0	0,082	0,001	0,007

Fuente propia.

- Convertidor:

Tabla D.4. Valores de confiabilidad vs. tiempo.

Tiempo años	BD. Genérica		BD. Planta
	$R(\lambda=0,5)$	$R(\lambda=1,0)$	$R(\lambda=0,75)$
0,0	1,000	1,000	1,000
0,5	0,779	0,607	0,687
1,0	0,607	0,368	0,472
1,5	0,472	0,223	0,325
2,0	0,368	0,135	0,223
2,5	0,287	0,082	0,153
3,0	0,223	0,050	0,105
3,5	0,174	0,030	0,072
4,0	0,135	0,018	0,050
4,5	0,105	0,011	0,034
5,0	0,082	0,007	0,024

Fuente propia.

MANTENIBILIDAD

Equipo HPM :

Válvula de control:

Tabla D.5.

Tiempo	Mantenibilidad
horas	$\mu=0,25$
0,0	0,000
2,0	0,393
4,0	0,632
6,0	0,777
8,0	0,865
10,0	0,918
12,0	0,950
14,0	0,970
16,0	0,982
18,0	0,989
20,0	0,993
22,00	0,996
24,00	0,998
26,0	0,998
28,0	0,999
30,0	0,999
35,0	1,000

Tabla D.6.

Tiempo	Mantenibilidad
horas	$M(t), \mu=0,060$
0,0	0,000
8,0	0,381
16,0	0,616
24,0	0,762
32,0	0,853
40,0	0,909
48,0	0,944
56,0	0,965
64,0	0,978
72,0	0,987
80,0	0,992
88,00	0,995

Transmisor (PDT):

Convertidor:

Tabla D.7.

Tiempo	Mantenibilidad
horas	$M(t), \mu=0,156$
0,0	0,000
4,0	0,465
8,0	0,713
12,0	0,847
16,0	0,918
20,0	0,956
24,0	0,976
28,0	0,987
32,0	0,993
36,0	0,996
40,0	0,998
44,00	0,999

Tabla D.8.

Tiempo	Mantenibilidad
horas	$M(t), \mu=0,188$
0,0	0,000
4,0	0,530
8,0	0,779
12,2	0,900
16,0	0,951
20,0	0,977
24,0	0,989
28,0	0,995
32,0	0,998
36,0	0,999
40,0	0,999
44,00	1,000

DISPONIBILIDAD

Equipo HPM:

Tabla D.9.

Tiempo	Disponibilidad
horas	$\mu=0,25$ $\lambda=0,00010045$
0,0	1,00000
5,0	0,99959
10,0	0,99932
20,0	0,99902
30,0	0,99889
40,0	0,99884
100,0	0,99880
1000,0	0,99880
10000,0	0,99880
20000,0	0,99880
40000,0	0,99880
60000,00	0,99880

Válvula de control:

Tabla D.10.

Tiempo	Disponibilidad
horas	$\mu=0,0598$ $\lambda=,000114$
0,0	1,000000
5,0	0,999507
10,0	0,999142
20,0	0,998670
30,0	0,998412
40,0	0,998270
100,0	0,998102
1000,0	0,998097
10000,0	0,998097
20000,0	0,998097
40000,0	0,998097
60000,00	0,998097

Transmisor (PDT):

Tabla D.11.

Tiempo	Disponibilidad
horas	$D(t) \mu=0,15625$ $\lambda=,00011415$
0,0	1,000000
5,0	0,999604
10,0	0,999423
20,0	0,999302
30,0	0,999277
40,0	0,999271
100,0	0,999270
1000,0	0,999270
10000,0	0,999270
20000,0	0,999270
40000,0	0,999270
60000,00	0,999270

Convertidor:

Tabla D.12.

Tiempo	Disponibilidad
horas	$D(t) \mu=0,1886$ $\lambda=,0000856$
0,0	1,000000
5,0	0,999723
10,0	0,999615
20,0	0,999557
30,0	0,999548
40,0	0,999547
100,0	0,999546
1000,0	0,999546
10000,0	0,999546
20000,0	0,999546
40000,0	0,999546
60000,00	0,999546



APENDICE E

A
P
E
N
D
I
C
E

MENU - Windows Internet Explorer

PDVSA **SIGMA**

INICIO ACTIVIDADES DIARIAS PERSONAL DISPONIBLE PLAN PREVENTIVO REPORTES Y CONSULTAS ADMINISTRACIÓN AVANCE SAIR

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - AGREGAR

USUARIO: JOSE PABON ROL: CUSTODIO GERENCIA: AUTOMATIZACION, INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES
 REFINERÍA: REFINERIA EL PALITO SUPERINTENDENCIA DE: AUTOMATIZACION SECCIÓN: AUTOMATIZACIÓN
 ÁREA: PLANTA:
 EQUIPO:

Plan de Mantenimiento Preventivo - Agregar

EQUIPO	(TAG/SIGLA)	TIPO DE INSTRUMENTO	SERVICIO	MESES - 2010												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
GUS-01	GUS-01_TARJ VIDEO	TARJET VIDEO MATROX	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
GUS-01	GUS-01_CD ROM	CD-ROM HODS	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
GUS-01	GUS-01_MAU	MAU (51305348-100)	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
GUS-01	GUS-01_LCNP4	LCNP4 (51403299-200)	null	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

« Regresar Guardar

Figura E.1 Plan de mantenimiento optimizado estaciones GUS. Fuente propia.

MENU - Windows Internet Explorer

PDVSA **SIGMA**

INICIO ACTIVIDADES DIARIAS PERSONAL DISPONIBLE PLAN PREVENTIVO REPORTES Y CONSULTAS ADMINISTRACIÓN AVANCE SAIR

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - AGREGAR

USUARIO: JOSE PABON ROL: CUSTODIO GERENCIA: AUTOMATIZACION, INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES
 REFINERÍA: REFINERIA EL PALITO SUPERINTENDENCIA DE: AUTOMATIZACION SECCIÓN: AUTOMATIZACIÓN
 ÁREA: PLANTA:
 EQUIPO:

Plan de Mantenimiento Preventivo - Agregar

EQUIPO	(TAG/SIGLA)	TIPO DE INSTRUMENTO	SERVICIO	MESES - 2010												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
AM-28	AM-28_APLICACION MCARDS	K4LCN-16 (51403519-160)	null	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	0	01
AM-28	AM-28_APLICACION MCARDS_1	CLCN A/B (51305072-400)	null	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	0	01
AM-28	AM-28_APLICACION MCARDS_2	POWER SUPPLY (51402184-100)	null	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	0	01
AM-28	AM-28_APLICACION MCARDS_3	FAN MODULE (51401496-100)	null	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	0	01

« Regresar Guardar

Figura E.2 Plan de mantenimiento optimizado de los AM. Fuente propia.

MENU - Windows Internet Explorer

PDVSA **SIGMA**

Inicio | ACTIVIDADES DIARIAS | PERSONAL DISPONIBLE | **PLAN PREVENTIVO** | REPORTES Y CONSUMOS | ADMINISTRACIÓN | AYUDA | SALIR

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - AGREGAR

USUARIO: JOSE PABON ROL: CUSTODIO GERENCIA: AUTOMATIZACION, INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES
 REFINERÍA: REFINERIA EL PALITO SUPERINTENDENCIA DE: AUTOMATIZACION SECCIÓN: AUTOMATIZACIÓN

ÁREA: PLANTA:

EQUIPO:

Plan de Mantenimiento Preventivo - Agregar

EQUIPO	(TAG/SIGLA)	TIPO DE INSTRUMENTO	SERVICIO	MESES - 2010												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
NIM-09	LCN-01-NIM09_1	E - NETWORK INTERFACE MODULE 09	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIM-09	LCN-01-NIM09_2	K4LCN-16 (51403519-160)	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIM-09	LCN-01-NIM09_3	EPNI (51401583-100)	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIM-09	LCN-01-NIM09_4	NIM MODEM (51305896-100)	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIM-09	LCN-01-NIM09_5	CLCN A/B (51305072-400)	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIM-09	LCN-01-NIM09_6	POWER SUPPLY (51402184-100)	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIM-09	LCN-01-NIM09_7	FAN MODULE (51401496-100)	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura E.3 Plan de mantenimiento optimizado estaciones GUS. Fuente propia.

MENU - Windows Internet Explorer

PDVSA **SIGMA**

Inicio | ACTIVIDADES DIARIAS | PERSONAL DISPONIBLE | **PLAN PREVENTIVO** | REPORTES Y CONSUMOS | ADMINISTRACIÓN | AYUDA | SALIR

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - AGREGAR

USUARIO: JOSE PABON ROL: CUSTODIO GERENCIA: AUTOMATIZACION, INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES
 REFINERÍA: REFINERIA EL PALITO SUPERINTENDENCIA DE: AUTOMATIZACION SECCIÓN: AUTOMATIZACIÓN

ÁREA: PLANTA:

EQUIPO:

Plan de Mantenimiento Preventivo - Agregar

EQUIPO	(TAG/SIGLA)	TIPO DE INSTRUMENTO	SERVICIO	MESES - 2010												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MOD_CARDS_CHASIS_1	SLOT_PS: REDUNDANT POWER MODULE	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_1_1	SLOT MP-A: TRICON Enhacend Main Proc.(3008)_1	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_1_2	SLOT MP-B: TRICON Enhacend Main Proc.(3008)_1	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_1_3	SLOT MP-C: TRICON Enhacend Main Proc.(3008)_1	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_1_4	SLOT 1: ANALOG IMPUT, 5V INPUT, 32P_(3700/A)	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_1_5	SLOT 2: THERMOCUP TYP_K DgF,16P_(3708/E)_1	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_1_6	SLOT 3: SAFETY MANAGER MODULE_(4409)_1	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_1_7	SLOT 4: TCM A/B TRIC COM MOD A/B_(4351A/B)_1	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_2	SLOT_PS: REDUNDANT POWER MODULE	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_2_1	SLOT 1: DISCRET INPUT, 24V, 32P_(3503/E)_1	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_2_2	SLOT 2: SUPERV DISCR OUTP,24V,32P_(3625/N)_1	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_2_3	SLOT 3: EMPTY	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05SM-25/26_TRICONEX	05HSM25/26_MCARDS_CHASIS_2_4	SLOT 4: DISCRET OUTPUT, 24VDC, 16P_(3604/E)_1	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura E.4 Plan de mantenimiento optimizado SM-Triconex. Fuente propia.

MENU - Windows Internet Explorer

PDVSA **SIGMA**

Inicio ACTIVIDADES DIARIAS PERSONAL DISPONIBLE PLAN PREVENTIVO REPORTES Y CONSULTAS ADMINISTRACIÓN AYUDA SALIR

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - AGREGAR

USUARIO: JOSE PABON ROL: CUSTODIO GERENCIA: AUTOMATIZACION, INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES
 REFINERÍA: REFINERIA EL PALITO SUPERINTENDENCIA DE: AUTOMATIZACION SECCIÓN: AUTOMATIZACIÓN
 ÁREA: Conversión y Tratamiento PLANTA: Fraccionamiento Catalítico
 EQUIPO: 09HWY_CCC

Plan de Mantenimiento Preventivo - Agregar

EQUIPO	(TAG/SIGLA)	TIPO DE INSTRUMENTO	SERVICIO	MESES - 2010												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
09HWY_CCC	09HWY_CCC_PS_TRP_MOD 1/2	MOD 1/2:(PSM-30-07-R)_30A_02	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_PS_TRP_MOD 3	MOD 3:DIODO MOD_(K087.1)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_PS_CGH_MOD 1/2	MOD 1/2:(PSM-30-07-R)_30A_02	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_PS_CGH_MOD 3	MOD 3:DIODO MOD_(K087.1)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_RACK1_TRP_SLOT4	SLOT4_IOM:R1G1S1_(I-201-4/200)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_RACK1_TRP_SLOTS	SLOTS_IOM:R1G1S2_(I-201-4/200)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_RACK1_TRP_SLOTS	SLOT8-MPM:R1MPM1_(MPM-1)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_RACK1_TRP_SLOTS	SLOT9-MPM:R1MPM2_(MPM-1)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_RACK1_TRP_SLOT11	SLOT11-IOM:R1G2S1_(I-200/200)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_RACK1_TRP_SLOT12-I	SLOT12-IOM:R1G2S2_(I-200/200)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_RACK2_CGH_SLOT4	SLOT4_IOM:R2G1S1_(I-201-4/200)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_RACK2_CGH_SLOTS	SLOTS_IOM:R2G1S2_(I-201-4/200)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_RACK2_CGH_SLOT8	SLOT8-MPM:R2MPM1_(MPM-1)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_RACK2_CGH_SLOT9	SLOT9-MPM:R2MPM2_(MPM-1)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09HWY_CCC	09HWY_CCC_RACK2_CGH_SLOT11	SLOT11-IOM:R2G2S1_(I-200/200)_01	null	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

« Regresar Guardar

Figura E.5 Plan de mantenimiento optimizado sistema anti-surge. Fuente propia.

MENU - Windows Internet Explorer

PDVSA **SIGMA**

Inicio ACTIVIDADES DIARIAS PERSONAL DISPONIBLE PLAN PREVENTIVO REPORTES Y CONSULTAS ADMINISTRACIÓN AYUDA SALIR

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - AGREGAR

USUARIO: JOSE PABON ROL: CUSTODIO GERENCIA: AUTOMATIZACION, INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES
 REFINERÍA: REFINERIA EL PALITO SUPERINTENDENCIA DE: AUTOMATIZACION SECCIÓN: AUTOMATIZACIÓN
 ÁREA: Conversión y Tratamiento PLANTA: Fraccionamiento Catalítico
 EQUIPO: SIST-AMS

Plan de Mantenimiento Preventivo - Agregar

EQUIPO	(TAG/SIGLA)	TIPO DE INSTRUMENTO	SERVICIO	MESES - 2010												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
SIST-AMS	Marshalling # 01_MI1.1	01Maestro-AI_HART MUX MASTER_(KFD2-HMM-16)_01	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 01_MO1.1	01Maestro-AO_HART MUX MASTER_(KFD2-HMM-16)_01	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 01_SI1.1 - S11.6	01Esclavo-AI_HART MUX SLAVE_(KFDO-HMS-16)_06	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 01_SO1.1 - SO1.3	01Esclavo-AO_HART MUX SLAVE_(KFDO-HMS-16)_03	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 01_CT1 - CT7	01Tarj. Interf. AI_HART FLEX INTERF_(FI-DO-Y37023)_07	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 01_CT8 - CT11	01Tarj. Interf. AO_HART FLEX INTERF_(FI-DO-Y37023)_04	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 01_HF1 - HF25	01Hart Filter-AO_HART FILTER_(HF-AO-02)_25	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 02_MI2.1	02Maestro-AI_HART MUX MASTER_(KFD2-HMM-16)_01	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 02_MO2.1	02Maestro-AO_HART MUX MASTER_(KFD2-HMM-16)_01	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 02_SI2.1	02Esclavo-AI_HART MUX SLAVE_(KFDO-HMS-16)_01	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 02_SO2.1	02Esclavo-AO_HART MUX SLAVE_(KFDO-HMS-16)_01	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 02_CT1 - CT2	02Tarj. Interf. AI_HART FLEX INTERF_(FI-DO-Y37023)_02	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 02_CT3 - CT4	02Tarj. Interf. AO_HART FLEX INTERF_(FI-DO-Y37023)_02	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01
SIST-AMS	Marshalling # 02_HF1 - HF11	02Hart Filter-AO_HART FILTER_(HF-AO-02)_11	null	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01

« Regresar Guardar

Figura E.6 Plan de mantenimiento optimizado sistema AMS. Fuente propia.



Gerencia: AIT
 Superintendencia: Automatización
 Sección: Automatización
 Planificación de Mantenimiento / Automatización
 Mantenimiento Preventivo a Equipos Especiales de Automatización

Fecha: _____
 N° de orden: _____
 Responsable: _____

CHEKLIST HPM

Tag HPM _____

1. Equipos y Herramientas:

Voltímetro Digital
 Kit de herramientas de Mantenimiento
 Accesorios

2. Condiciones Generales

- 2.1 ¿Se encuentran identificados los Gabinetes HPM? si no
 2.2 ¿Se encuentran identificados los Files y módulos del HPM? si no
 2.2 ¿La iluminación es adecuada en el área de ubicación? si no
 2.3 ¿Las condiciones de temperatura en el área son adecuadas? si no
 2.4 ¿Se encuentran en el gabinete Planos de Conexión? si no

Precaución. Riesgo de descarga eléctrica

3. Sistema de Alimentación AC

3.1 Chequear que la alimentación AC se encuentra entre los valores permitidos

Power Source	Voltage Range	Frequency Range	Vac (V)	f (Hz)
120 Vac, 50 or 60 Hz	100 to 132 Vac	47 to 63 Hz	_____	_____

3.2 ¿Está conectado el cable de tierra de seguridad en el gabinete? si no

4. Cableado

- 4.1 ¿Se encuentra el cableado de campo conectado en la FTA tal como lo refiere el Manual Process Manager I/O Installation? si no
 4.2 ¿Se encuentra conectado el cable principal de red UCN al terminal A y el cable redundante al terminal B? si no
 4.3 ¿Se encuentran instaladas las Resistencias Terminadoras? si no

5. Funcionabilidad

- 5.1 ¿Se encuentran los ventiladores en funcionamiento? si no
 5.2 ¿Se encuentran encendidos los Led's de funcionamiento del módulo de Indicadores del Sistema de Alimentación Standard? si no
 5.3 ¿Cual no se encuentra encendido?

Supply 1	DC Out <input type="radio"/>	Battery <input type="radio"/>	Fan/Temp <input type="radio"/>	AC In <input type="radio"/>	Changing <input type="radio"/>
Supply 2	DC Out <input type="radio"/>	Battery <input type="radio"/>	Fan/Temp <input type="radio"/>	AC In <input type="radio"/>	Changing <input type="radio"/>

5.4 ¿Están encendidos los Led's del Módulo de alimentación Eléctrica? si no

5.5 Chequear que la salida de 24 Vdc ¿Está entre 23 Vdc y 25 Vdc? Indique: _____

6. Tarjetas IOP's

- 6.1 Chequear cada una de las tarjetas HPMM y IOP se encuentran encendidas (verde) y notifican Estatus
 6.2 ¿Cual(es) IOP(s) está(n) en falla?

UCN	FILE	SLOT	MODELO	N° DE PARTE

7. Módulos FTA

- 7.1 Chequear cada uno de los módulos FTA del HPM, verifique si están encendidas.
 7.2 ¿Cual(es) FTA(s) está(n) en falla?

UCN	MÓDULO	MODELO	N° DE PARTE

Observaciones: _____

Figura E.7 Reporte de inspección para HPM de la Planta de FCC.

HOJA REGISTRO DE FALLAS - INSTRUMENTACION

Unidad: _____
 Planta: _____
 Equipo: _____
 Lazo de Instrumentación: _____
 Tag de Instrumento: _____

Número de Orden trabajo: _____
 Emisión de Orden: Fecha: _____ Hora: _____
 Inicio Reparación: Fecha: _____ Hora: _____
 Fin Reparación: Fecha: _____ Hora: _____
 Tiempo para Reparación: _____ Horas

Costo Labor: _____ M\$
 Costo Materiales: _____ M\$
 Costo Producción diferida: _____ M\$
 Costo Parada: _____ M\$
Costo Total: _____ M\$

Modo de Falla - (Imagen Daño): _____
 Función del lazo
 Inicio Parada Fecha: _____ Hora: _____
 Fin Parada Fecha: _____ Hora: _____
 Tiempo de Parada: _____ Horas

- | Descripción de Falla |
|---|
| <input type="radio"/> Falla mecánica - General |
| <input type="radio"/> Fuga |
| <input type="radio"/> Vibración |
| <input type="radio"/> Falla de alineación/separación |
| <input type="radio"/> Deformación |
| <input type="radio"/> Pérdidas |
| <input type="radio"/> Atascado (retención) |
| <input type="radio"/> Falla del material - General |
| <input type="radio"/> Cavitación |
| <input type="radio"/> Corrosión |
| <input type="radio"/> Erosión |
| <input type="radio"/> Desgaste |
| <input type="radio"/> Rotura |
| <input type="radio"/> Fatiga |
| <input type="radio"/> Sobrecalentamiento |
| <input type="radio"/> Explosión |
| <input type="radio"/> Falla de instrumentación - General |
| <input type="radio"/> Falla de control |
| <input type="radio"/> Ausencia de señal, indicación, alarma |
| <input type="radio"/> Falla de señal, indicación, alarma |
| <input type="radio"/> Fuera de ajuste |
| <input type="radio"/> Falla de software |
| <input type="radio"/> Falla común |
| <input type="radio"/> Falla eléctrica - General |
| <input type="radio"/> Corto circuito |
| <input type="radio"/> Circuito abierto |
| <input type="radio"/> Ausencia de alimentación eléctrica |
| <input type="radio"/> Falla en alimentación eléctrica |
| <input type="radio"/> Falla de tierra/aislamiento |
| <input type="radio"/> Influencia Externa - General |
| <input type="radio"/> Bloqueo/Taponamiento |
| <input type="radio"/> Contaminación |
| <input type="radio"/> Influencias Externas - misceláneos |
| <input type="radio"/> Misceláneos - general |
| <input type="radio"/> Desconocido |

- | Causas de Falla |
|--|
| <input type="radio"/> Causas relacionadas con el diseño - General |
| <input type="radio"/> Capacidad inadecuada |
| <input type="radio"/> Material inapropiado |
| <input type="radio"/> Diseño inapropiado |
| <input type="radio"/> Causas relacionadas a la instalación o fabricación - General |
| <input type="radio"/> Error de fabricación |
| <input type="radio"/> Error de instalación |
| <input type="radio"/> Fallas relacionadas a operación/mantenimiento - General |
| <input type="radio"/> Servicio fuera de diseño |
| <input type="radio"/> Error de operación |
| <input type="radio"/> Error de mantenimiento |
| <input type="radio"/> Desgaste y desgarre esperado |
| <input type="radio"/> Falla relacionada a administración - General |
| <input type="radio"/> Error de documentación |
| <input type="radio"/> Error en procedimientos administrativos |
| <input type="radio"/> Misceláneos - General |
| <input type="radio"/> Desconocido (Realizar análisis causa raíz) |

- | Actividad de Mantenimiento | Método de detección |
|--|--|
| <input type="radio"/> Reemplazo | <input type="radio"/> Mantenimiento preventivo |
| <input type="radio"/> Reparación | <input type="radio"/> Chequeo operacional |
| <input type="radio"/> Modificación | <input type="radio"/> Inspección |
| <input type="radio"/> Ajuste | <input type="radio"/> Monitoreo de condición periódica |
| <input type="radio"/> Reajuste | <input type="radio"/> Monitoreo de condición continua |
| <input type="radio"/> Chequeo | <input type="radio"/> Mantenimiento correctivo |
| <input type="radio"/> Servicio | <input type="radio"/> Observación |
| <input type="radio"/> Prueba | <input type="radio"/> Combinación |
| <input type="radio"/> Inspección | <input type="radio"/> Interferencia en la producción |
| <input type="radio"/> Mant. Mayor/Overhaul | <input type="radio"/> Otros |
| <input type="radio"/> Combinación | |
| <input type="radio"/> Otros | |

Información Adicional: (Por ejem.: Causa de falla, sub-componente mantenido, comentario, etc)

Figura E.8 Reporte de fallas para instrumentos.

REPORTE DE INSPECCIÓN

VÁLVULAS DE CONTROL

Elaborado por: _____

Fecha: ___ / ___ / ___

IDENTIFICACIÓN

TAG: _____

FABRICANTE: _____ MODELO: _____ SERIAL: _____

CONDICIONES GENERALES

CUERPO

Presenta pase interno:	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.	Pernos y tuercas corroídas	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.
Fuga por bridas:	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.	Requiere sandblasting	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.
Taponamiento c/producto	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.	Trazas de vapor en buen estado	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.
Fuga por prensa estopa	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.	Otro: _____	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.

ACTUADOR

Fuga por Diafragma	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.	Aire de Instrumento con humedad	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.
Fuga tubing o conexiones	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.	Vástago atascado o corroído	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.
Tuberías deterioradas	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.	Señal de control confiable	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.
Regulador de aire dañado	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.	Posicionador defectuoso	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.
Manómetros dañados	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.	Actuador requiere pintura externa	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.
Convertidor I/P defectuoso	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.	Otro: _____	<input type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	<input type="radio"/> n.a.

MANTENIMIENTO REQUERIDO

NIVEL II	SI	NO
-----------------	-----------	-----------

1. Reemplazo de empaaduras y prensa estopa
2. Inspección de elementos internos (bola, asientos, tapón, compuerta, etc.)
3. Limpieza interna
4. Inspección y ajuste de carrera del actuador

NIVEL III

1. Reacondicionamiento interno del cuerpo, así como bridas y vástago
2. Reacondicionamiento del actuador: rodamientos, partes mecánicas, resorte, diafragma, o'rings, pistón, etc.
3. Reacondicionamiento de superficie y aplicación de pintura externa y/o interna (si aplica)
4. Prueba de hermeticidad para ensayo hidrostático

NIVEL IV

1. Mantenimiento mayor. Involucra: reacondicionamiento o reemplazo total o parcial
2. Prueba de hermeticidad en banco de ensayo hidrostático
3. Limpieza abrasiva para aplicación de pintura externa y/o interna

Observaciones: _____

Figura E.9 Reporte de inspección para válvulas de control.

REPORTE DE INSPECCIONES-REPARACIONES DE INSTRUMENTOS.

(1) DEBIDO A: Actividad Tipo: <input type="checkbox"/> 11 Correctiva <input type="checkbox"/> 23 Preventiva <input type="checkbox"/> 31 Paro Operacional <input type="checkbox"/> Inspección	(2) EQUIPO TAG: MARCA: MODELO: SERIAL: (9) Solicitado por:	(3) FECHA INICIO	(4) HORA	(5) FECHA FINAL	(6) HORA
		Día Mes Año	Hora : Min Am/Pm	Día Mes Año	Hora:Min Am/Pm
			: -		: -
		(7) AREA: <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> S.I. <input type="checkbox"/> M.C.P <input type="checkbox"/> TALLER		(8) REPARADO EN: <input type="checkbox"/> (T) TALLER <input type="checkbox"/> (L) SITIO	
				(10) N° de Orden:	

INSPECCIONES (corresponde a inspección visual, no requiere manipulación del instrumento)

INTERRUPTOR
 TRANSMISOR
 VALVULA
 ANALIZADOR
 P.L.C.
 DCS
 SACI

(11) En las siguiente opciones verificar cada uno de los aspectos e indicar las condiciones encontradas.

FUGA: Producto Fluido de sello Aire de Instr. NO NA
 INDICACION (Indicar entre paréntesis el valor esperado) Local: ();
 DCS: (); Alterna ()

CONDICIONES ENCONTRADAS	BIEN	MAL	N/A
TUBING	___	___	___
SOPORTE	___	___	___
CORROSION (Tomas, Soporte)	___	___	___
ACCESO	___	___	___
VIBRACION	___	___	___
RUIDO	___	___	___
MEDICION ALTERNA	___	___	___
LUBRICACION	___	___	___
PRESION DE AIRE	___	___	___
CUERPO	___	___	___
PRENSA ESTOPA	___	___	___
COND. FLEXIBLES	___	___	___
IDENTIFICACION	___	___	___
ALARMA LOCAL	___	___	___
ALARMA REMOTA	___	___	___
DESENERGIZADO	___	___	___
TRAZA	___	___	___
CONDUIT	___	___	___
TAPA DE CONDULETA	___	___	___
SELLO DE CONDUIT	___	___	___
VIDRIO	___	___	___
*MODULO DCS/PLC	___	___	___
TRAZA	___	___	___
CARPETA DE LAZO	___	___	___
TEMPERATURA DE TRAZA(°F):	___		
TEMP AMBIENTE NORMAL(°F):	___		
TEMPERATURA EQUIPO(°F)	___		

ANALIZADORES

(12) Acondicionar de muestras... (Indicar cuando aplique)

Stream	PRESION	FLUJO	TEMPERAT.
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

(13) Lecturas/Resultados de Análisis

Indicación	TAG	CAMPO	CONSOLA
ST1			
ST2			
ST3			
ST4			
ST5			
ST6			
ST7			
ST8			

(14) Otras Condiciones:

Temperatura Celda/Horno _____
 Presión Gases H₂ _____ N₂ _____ He _____

Observ.: _____

*En caso de ser afirmativa la respuesta, indicar en Observ. cual es el módulo dañado.

Figura E.10 Reporte de inspección para instrumentos.



ANEXO A

A
N
E
X
O
S

REFINERIA EL PALITO
GERENCIA AIT – REGION CENTRAL
DEPARTAMENTO DE AUTOMATIZACIÓN E INSTRUMENTACIÓN

NORMA VENEZOLANA MANUAL PARA EVALUAR LOS SISTEMAS DE MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA COVENIN 2500-93 (FONDONORMA)	Punts máx	Deméri tos	Calific acion
AREA I: ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA			
I.1 Funciones y Responsabilidades. Principios			
Principio Básico La Organización posee un organigrama general y por departamentos. Se tienen definidas por escrito las descripciones de las diferentes funciones con su correspondiente asignación de responsabilidades para todas las unidades estructurales de la organización (guardando la relación con su tamaño y complejidad en producción).	60		
Deméritos			
I.1.1 La Organización no posee organigramas acordes con su estructura o no están actualizados; tanto a nivel general, como a nivel de departamentos.		20	7
I.1.2 Las funciones y la correspondiente asignación de responsabilidades, no están especificadas por escrito, o presentan falta de claridad.		20	6
I.1.3 La definición de funciones y la asignación de responsabilidades no llegan hasta el último nivel supervisorio necesario, para el logro de los objetivos deseados.		20	6
I.2 Autoridad y Autonomía			
Principio Básico Las personas asignadas al desarrollo y cumplimiento de las diferentes funciones, cuentan con el apoyo necesario de la dirección de la organización, y tienen la suficiente autoridad y autonomía para el cumplimiento de las funciones y responsabilidades establecidas.	40		
Deméritos			
I.2.1 La línea de autoridad no está claramente definida		10	2
I.2.2 Las personas asignadas a cada puesto de trabajo no tienen pleno conocimiento de sus funciones		10	3
I.2.3 Existe duplicidad de funciones		10	3
I.2.4 La toma de decisiones para la resolución de problemas rutinarios en cada dependencia o unidad, tiene que ser efectuada previa consulta a los niveles superiores		10	3
I.3 Sistema de Información			
Principio Básico La Organización cuenta con una estructura técnica administrativa para la recolección, depuración, almacenamiento, procesamiento y distribución de la información que el sistema productivo requiere.	50		
Deméritos			
I.3.1 La Organización no cuenta con un diagrama de flujo para el sistema de información, donde estén involucrados todos los componentes estructurales partícipes en la toma de decisiones.		10	5
I.3.2 La Organización no cuenta con mecanismos para evitar que se introduzca información errada o incompleta en el sistema de información.		5	3
I.3.3 La Organización no cuenta con un archivo ordenado y jerarquizado técnicamente.		5	3
I.3.4 No existen procedimientos normalizados (formatos) para llevar y comunicar la información entre las diferentes		10	4
I.3.5 La Vicepresidencia no dispone de los medios para el procesamiento de la información en base a los resultados que se deseen obtener.		10	4
I.3.6 La Organización no dispone de los mecanismos para que la información recopilada y procesada llegue a las personas que deben manejarla.		10	3

AREA II: ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO			
II.1 Funciones y Responsabilidades.			
Principio Básico			
La función mantenimiento, está bien definida y ubicada dentro de la organización y posee un organigrama para este departamento. Se tienen por escrito las diferentes funciones y responsabilidades para los diferentes componentes dentro de la organización de mantenimiento. Los recursos asignados son adecuados, a fin de que la función pueda cumplir con los objetivos planteados.	80		
Deméritos			
II.1.1 La empresa no tiene organigramas acordes a su estructura o no están actualizados para La Organización de mantenimiento.		15	6
II.1.2 La Organización de mantenimiento, no está acorde con el tamaño del Sistema Productivo (SP), tipo de objetos a mantener, tipo de personal, tipo de proceso, distribución geográfica, u otro.		15	6
II.1.3 La unidad de mantenimiento no se presenta en el organigrama general, independiente del departamento de producción.		15	3
II.1.4 Las funciones y la correspondiente asignación de responsabilidades no están definidas por escrito o no están claramente definidas dentro de la unidad.		10	3
II.1.5 La asignación de funciones y de responsabilidades no llega hasta el último nivel supervisorio necesario, para el logro de los objetivos deseados.		10	3
II.1.6 La Organización no cuenta con el personal suficiente tanto en cantidad como en calificación, para cubrir las actividades de mantenimiento.		15	5
II.2 Autoridad y Autonomía-			
Principio Básico			
Las personas asignadas para el cumplimiento de las funciones y responsabilidades cuentan con el apoyo de la gerencia y poseen la suficiente autoridad y autonomía para el desarrollo y cumplimiento de las funciones y responsabilidades establecidas.	50		
Deméritos			
II.2.1 La unidad de mantenimiento no posee claramente definidas las líneas de autoridad.		15	5
II.2.2 El personal asignado a mantenimiento no tiene pleno conocimiento de sus funciones.		15	4
II.2.3 Se presentan solapamientos y/o duplicidad en las funciones asignadas a cada componente estructural de La Organización de mantenimiento.		10	2
II.2.4 Los problemas de carácter rutinario no pueden ser resueltos sin consulta a niveles superiores.		10	1
II.3 Sistema de Información			
Principio Básico			
La Organización de mantenimiento posee un sistema que le permite manejar óptimamente toda la información referente a mantenimiento (registro de fallas, programación de mantenimiento, estadísticas, costos, información sobre equipos, u otra).	70		
Deméritos			
II.3.1 La Organización de mantenimiento no cuenta con un flujograma para su sistema de información donde estén claramente definidos los componentes estructurales involucrados en la toma de decisiones.		15	5
II.3.2 La Organización de mantenimiento no dispone de los medios para el procesamiento de la información de las diferentes secciones o unidades en base a los resultados que se desean obtener.		15	7
II.3.3 La Organización de mantenimiento no cuenta con mecanismos para evitar que se introduzca información errada o incompleta en el sistema de información.		10	6
II.3.4 La Organización de mantenimiento no cuenta con un archivo ordenado y jerarquizado técnicamente.		10	7
II.3.5 No existen procedimientos normalizados (formatos) para llevar y comunicar la información entre las diferentes secciones o unidades, así como su almacenamiento (archivo) para su cabal recuperación.		10	6

AREA III: PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO			
III.1 Objetivos y Metas			
Principio Básico			
Dentro de La Organización de mantenimiento la función de planificación tiene establecidos los objetivos y metas en cuanto a las necesidades de los objetos de mantenimiento, y el tiempo de realización de acciones de mantenimiento para garantizar la disponibilidad de los sistemas, todo esto incluido en forma clara y detallada en un plan de acción.	70		
Deméritos			
III.1.1 No se encuentran definidos por escrito los objetivos y metas que debe cumplir La Organización de mantenimiento.		20	8
III.1.2 La Organización de mantenimiento no posee un plan donde se especifiquen detalladamente las necesidades reales y objetivas de mantenimiento para los diferentes objetos a mantener.		20	9
III.1.3 La organización no tiene establecido un orden de prioridades para la ejecución de las acciones de mantenimiento de aquellos sistemas que lo requieren.		15	8
III.1.4 Las acciones de mantenimiento que se ejecutan no se orientan hacia el logro de los objetivos.		15	5
III.2 Políticas para la planificación			
Principio Básico			
La gerencia de mantenimiento ha establecido una política general que involucre su campo de acción, su justificación, los medios y objetivos que persigue. Se tiene una planificación para la ejecución de cada una de las acciones de mantenimiento utilizando los recursos disponibles.	70		
Deméritos			
III.2.1 La organización no posee un estudio donde se especifiquen detalladamente las necesidades reales y objetivas de mantenimiento para los diferentes objetos de mantenimiento.		20	10
III.2.2 No se tiene establecido un orden de prioridades para la ejecución de las acciones de mantenimiento de aquellos sistemas que lo requieran.		20	9
III.2.3 A los sistemas sólo se les realiza mantenimiento cuando fallan		15	11
III.2.4 El equipo gerencial no tiene coherencia en torno a las políticas de mantenimiento establecidas.		15	8
III.3 Control y Evaluación			
Principio Básico			
La Organización cuenta con un sistema de señalización o codificación lógica y secuencial que permite registrar información del proceso o de cada línea, máquina o equipo en el sistema total. Se tiene elaborado un inventario técnico de cada sistema: su ubicación, descripción y datos de mantenimiento necesario para la elaboración de los planes de mantenimiento.	60		
Deméritos			
III.3.1 No existen procedimientos normalizados para recabar y comunicar información así como su almacenamiento para su posterior uso.		10	5
III.3.2 No existe una codificación secuencial que permita la ubicación rápida de cada objeto dentro del proceso, así como el registro de información de cada uno de ellos.		10	4
III.3.3 La empresa no posee inventario de manuales de mantenimiento y operación, así como catálogos de piezas y partes de cada objeto a mantener.		10	3
III.3.4 No se dispone de un inventario técnico de objetos de mantenimiento que permita conocer la función de los mismos dentro del sistema al cual pertenece, recogida ésta información en formatos normalizados.		10	6
III.3.5 No se llevan registros de fallas y causas por escrito.		5	3
III.3.6 No se llevan estadísticas de tiempos de parada y de tiempo de reparación.		5	3
III.3.7 No se tiene archivada y clasificada la información necesaria para la elaboración de los planes de mantenimiento.		5	1
III.3.8 La información no es procesada y analizada para la futura toma de decisiones.		5	2

AREA IV: MANTENIMIENTO RUTINARIO			
IV.1 Planificación			
Principio Básico			
La Organización de mantenimiento tiene preestablecidas las actividades diarias y hasta semanales que se van a realizar a los objetos de mantenimiento, asignado los ejecutores responsables para llevar a cabo la acción de mantenimiento. La Organización de mantenimiento cuenta con una infraestructura y procedimientos para que las acciones de mantenimiento rutinario se ejecuten en forma organizada. La Organización de mantenimiento tiene un programa de mantenimiento rutinario, así como también un stock de materiales y herramientas de mayor uso para la ejecución de este tipo de mantenimiento.	100		
Deméritos			
IV.1.1 No están descritas en forma clara y precisa las instrucciones técnicas que permitan al operario o en su defecto a La Organización de mantenimiento aplicar correctamente mantenimiento rutinario a los sistemas.		20	7
IV.1.2 Falta de documentación sobre instrucciones de mantenimiento para la generación de acciones de mantenimiento rutinario.		20	8
IV.1.3 Los operarios no están bien informados sobre el mantenimiento a realizar.		20	7
IV.1.4 No se tiene establecida una coordinación con la unidad de producción para ejecutar las labores de mantenimiento rutinario.		20	9
IV.1.5 Las labores de mantenimiento rutinario no son realizadas por el personal más adecuado según la complejidad y dimensiones de la actividad a ejecutar.		10	3
IV.1.6 No se cuenta con un stock de materiales y herramientas de mayor uso para la ejecución de este tipo de mantenimiento.		10	4
IV.2 Programación e Implantación			
Principio Básico			
Las acciones de mantenimiento rutinario están programadas de manera que el tiempo de ejecución no interrumpa el proceso productivo, la frecuencia de ejecución de las actividades son menores o iguales a una semana. La implantación de las actividades de mantenimiento rutinario lleva consigo una supervisión que permita controlar la ejecución de dichas actividades.	80		
Deméritos			
IV.2.1 No existe un sistema donde se identifique el programa de mantenimiento rutinario.		15	4
IV.2.2 La programación de mantenimiento rutinario no está definida de manera clara y detallada.		10	4
IV.2.3 Existe el programa de mantenimiento pero no se cumple con la frecuencia estipulada, ejecutando las acciones de manera variable y ocasionalmente.		10	4
IV.2.4 Las actividades de mantenimiento rutinario están programadas durante todos los días de la semana, impidiendo que exista holgura para el ajuste de la programación.		10	4
IV.2.5 La frecuencia de las acciones de mantenimiento rutinario (limpieza, ajuste, calibración y protección) no están asignadas a un momento específico de la semana.		10	5
IV.2.6 No se cuenta con el personal idóneo para la implantación del plan de mantenimiento rutinario.		10	2
IV.2.7 No se tienen claramente identificados a los sistemas que conformarán parte de las actividades de mantenimiento rutinario.		10	2
IV.2.8 La organización no tiene establecida una supervisión para el control de ejecución de las actividades de mantenimiento rutinario.		5	1
IV.3 Control y Evaluación			
Principio Básico			
El departamento de mantenimiento dispone de mecanismos que permitan llevar registros de las fallas, causas, tiempos de parada, materiales y herramientas utilizadas. Se lleva un control del mantenimiento de los diferentes objetos. El departamento dispone de medidas necesarias para verificar que se cumplan las acciones de mantenimiento rutinario programadas. Se realizan evaluaciones periódicas de los resultados de la aplicación del mantenimiento rutinario.	70		

AREA V : MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
V.1 Planificación			
Principio Básico			
La Organización de mantenimiento cuenta con una infraestructura y procedimiento para que las acciones de mantenimiento preventivo se lleven en una forma organizada. La Organización de mantenimiento tiene un programa de mantenimiento preventivo en el cual se especifican las acciones con frecuencia desde quincenal y hasta anuales a ser ejecutadas a los objetos de mantenimiento. La Organización de mantenimiento cuenta con estudios previos para determinar las cargas de trabajo por medio de las instrucciones de mantenimiento recomendadas por los fabricantes, constructores, usuarios, experiencias conocidas, para obtener ciclos de revisión de los elementos más importantes.	100		
Deméritos			
V.1.1 No existen estudios previos que conlleven a la determinación de las cargas de trabajo y ciclos de revisión de los objetos de mantenimiento, instalaciones y edificaciones sujetas a acciones de mantenimiento.		20	11
V.1.2 La empresa no posee un estudio donde especifiquen las necesidades reales y objetivas para los diferentes objetos de mantenimiento, instalaciones y edificaciones.		15	9
V.1.3 No se tienen planificadas las acciones de mantenimiento preventivo en orden de prioridad, y en el cual se especifiquen las acciones a ser ejecutadas a los objetos de mantenimiento, con frecuencias desde quincenales hasta anuales.		15	8
V.1.4 La información para la elaboración de instrucciones técnicas de mantenimiento preventivo, así como sus procedimientos de ejecución, es deficiente.		20	10
V.1.5 No se dispone de los manuales y catálogos de todas las máquinas.		10	3
V.1.6 No se ha determinado la fuerza laboral necesaria para llevar a cabo todas las actividades de mantenimiento, con una frecuencia establecida para dichas revisiones, distribuidas en un calendario anual.		10	5
V.1.7 No existe una planificación conjunta entre La Organización de mantenimiento, producción, administración y otros entes de la organización, para la ejecución de las acciones de mantenimiento preventivo.		10	6
V.2 Programación e implantación			
Principio Básico			
La organización tiene establecidas instrucciones detalladas para revisar cada elemento de los objetos sujetos a acciones de mantenimiento, con una frecuencia establecida para dichas revisiones, distribuidas en un calendario anual. La programación de actividades posee la elasticidad necesaria para llevar a cabo las acciones en el momento conveniente sin interferir con las actividades de producción y disponer del tiempo suficiente para los ajustes que requiere la programación.	80		
Deméritos			
V.2.1 No existe un sistema donde se identifique el programa de mantenimiento preventivo.		20	12
V.2.2 Las actividades están programadas durante todas las semanas del año, impidiendo que exista una holgura para el ajuste de la programación.		10	5
V.2.3 Existe el programa de mantenimiento pero no se cumple con la frecuencia estipulada, ejecutando las acciones de manera variable y ocasionalmente.		15	8
V.2.4 No existe un estudio de las condiciones reales de funcionamiento y las necesidades de mantenimiento.		10	6

AREA VII: MANTENIMIENTO MAYOR			
VII.1 Planificación			
Principio Básico			
La organización cuenta con una infraestructura y procedimiento para que las acciones de mantenimiento mayor se lleven a una forma planificada. El registro de información de fallas permite una clasificación y estudio que facilite su corrección.	100		
Deméritos			
VII.1.1 No se llevan registros por escrito de aparición de fallas para actualizarlas y evitar su futura presencia.		30	15
VII.1.2 No se clasifican las fallas para determinar cuales se van a atender o a eliminar por medio de la corrección.		30	15
VII.1.3 No se tiene establecido un orden de prioridades, con la participación de la unidad de producción para ejecutar las labores de mantenimiento mayor.		20	8
VII.1.4 La distribución de las labores de mantenimiento mayor no son analizadas por el nivel superior, a fin de que según la complejidad y dimensiones de las actividades a ejecutar se tome la decisión de detener una actividad y emprender otra que tenga más importancia.		20	5
VII.2. Programación e Implantación			
Principio Básico			
Las actividades de mantenimiento mayor se realizan siguiendo una secuencia programada, de manera que cuando ocurra una falla no se pierda tiempo ni se pare la producción. La Organización de mantenimiento cuenta con programas, planes, recursos y personal para ejecutar mantenimiento mayor de la forma más eficiente y eficaz posible. La implantación de los programas de mantenimiento mayor se realiza en forma progresiva.	80		
Deméritos			
VII.2.1 No se tiene establecida la programación de ejecución de las acciones de mantenimiento mayor.		20	8
VII.2.2 La unidad de mantenimiento no sigue los criterios de prioridad, según el orden de importancia de las fallas, para la programación de las actividades de mantenimiento mayor.		20	6
VII.2.3 No existe una buena distribución del tiempo para hacer mantenimiento mayor.		20	8
VII.2.4 El Personal encargado para la ejecución del mantenimiento mayor, no esta capacitado para tal fin		20	7
VII.3 Control y Evaluación			
Principio Básico			
La Organización de mantenimiento posee un sistema de control para conocer como se ejecuta el mantenimiento mayor. Posee todos los formatos planillas o fichas de control de materiales, repuestos y horas - hombre utilizadas en este tipo de mantenimiento. Se evalúa la eficiencia y cumplimiento de los programas establecidos con la finalidad de introducir los correctivos necesarios.	70		
Deméritos			
VII.3.1 No existen mecanismos de control periódicos que señalen el estado y avance de las operaciones de mantenimiento mayor.		15	7
VII.3.2 No se llevan registros del tiempo de ejecución de cada operación.		15	5
VII.3.3 No se llevan registros de la utilización de materiales y repuestos en la ejecución de mantenimiento mayor.		20	7
VII.3.4 La recopilación de información no permite la evaluación del mantenimiento mayor basándose en los recursos utilizados y su incidencia en el sistema, así como la comparación con los demás tipos de mantenimiento.		20	9

AREA VIII: MANTENIMIENTO PREDICTIVO			
VIII.1 Determinación de Parámetros			
Principio Básico			
La organización tiene establecido por objetivo lograr efectividad del sistema asegurando la disponibilidad de objetos de mantenimiento mediante el estudio de confiabilidad y mantenibilidad. La organización dispone de todos los recursos para determinar la frecuencia de inspecciones, revisiones y sustituciones de piezas aplicando incluso métodos estadísticos, mediante la determinación de los tiempos entre fallas y de los tiempos de paradas.	80		
Deméritos			
VIII.1.1 La organización no cuenta con el apoyo de los diferentes recursos de la empresa para la determinación de los parámetros de mantenimiento.		20	12
VIII.1.2 La organización no cuenta con estudios que permitan determinar la confiabilidad y mantenibilidad de los objetos de mantenimiento.		20	14
VIII.1.3 No se tienen estudios estadísticos para determinar la frecuencia de las revisiones y sustituciones de piezas claves.		20	15
VIII.1.4 No se llevan registros con los datos necesarios para determinar los tiempos de parada y los tiempos entre fallas.		10	7
VIII.1.5 El personal de La Organización de mantenimiento no esta capacitado para realizar estas mediciones de tiempos de parada y entre fallas.		10	6
VIII.2. Planificación			
Principio Básico			
La organización dispone de un estudio previo que le permita conocer los objetos que requieren mantenimiento predictivo. Se cuenta con una infraestructura de apoyo para realizar mantenimiento predictivo.	40		
Deméritos			
VIII.2.1 No existe una clara delimitación entre los sistemas que forman parte de los programas de mantenimiento predictivo de aquellos que permanecerán en régimen inmodificable hasta su desincorporación, sustitución o reparación correctiva.		20	13
VIII.2.2 La organización no cuenta con fichas o tarjetas normalizadas donde se recoja la información técnica básica de cada objeto de mantenimiento inventariado.		20	13
VIII.3 Programación e Implantación			
Principio Básico			
Las actividades de mantenimiento predictivo están programadas en forma racional, de manera que el sistema posea la elasticidad necesaria para llevar a cabo las acciones en el momento conveniente, no interferir con las actividades de producción y disponer del tiempo suficiente para los ajustes que requiera la programación. La implantación de los programas de mantenimiento predictivo se realiza en forma progresiva.	70		

AREA IX.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO			
IX.1 Atención a las Fallas			
Principio Básico			
La organización esta en capacidad para atender de una forma rápida y efectiva cualquier falla que se presente. La organización mantiene en servicio el sistema, logrando funcionamiento a corto plazo, minimizando los tiempos de parada, utilizando para ellos planillas de reporte de fallas, ordenes de trabajo, salida de materiales, ordenes de compra y requisición de trabajo, que faciliten la atención oportuna al objeto averiado.	100		
Deméritos			
IX.1.1 Cuando se presenta una falla ésta no se ataca de inmediato provocando daños a otros sistemas interconectados y conflictos entre el personal.		20	2
IX.1.2 No se cuenta con instructivos de registros de fallas que permitan el análisis de las averías sucedidas para cierto período.		20	8
IX.1.3 La emisión de órdenes de trabajo para atacar una falla no se hace de una manera rápida.		15	6
IX.1.4 No existen procedimientos de ejecución que permitan disminuir el tiempo fuera de servicio del sistema.		15	5
IX.1.5 Lo tiempos administrativos, de espera por materiales o repuestos, y de localización de la falla están presentes en alto grado durante la atención de la falla.		15	7
IX.1.6 No se tiene establecido un orden de prioridades en cuanto a atención de fallas con la participación de la unidad de producción.		15	5
IX.2 Supervisión y Ejecución			
Principio Básico			
Los ajustes, arreglos de defectos y atención a reparaciones urgentes se hacen inmediatamente después de que ocurre la falla. La supervisión de las actividades se realiza frecuentemente por personal con experiencia en el arreglo de sistemas, inmediatamente después de la aparición de la falla, en el período de prueba. Se cuenta con los diferentes recursos para la atención de las averías.	80		
Deméritos			
IX.2.1 No existe un seguimiento desde la generación de las acciones de mantenimiento correctivo hasta su ejecución.		20	6
IX.2.2 La empresa no cuenta con el personal de supervisión adecuado para inspeccionar los equipos inmediatamente después de la aparición de la falla.		15	3
IX.2.3 La supervisión es escasa o nula en el transcurso de la reparación y puesta en marcha del sistema averiado.		10	2
IX.2.4 El retardo de la ejecución de las actividades de mantenimiento correctivo ocasiona paradas prolongadas en el proceso productivo.		10	2
IX.2.5 No se llevan registros para analizar las fallas y determinar la corrección definitiva o la prevención de las mismas.		5	2
IX.2.6 No se llevan registros sobre el consumo, de materiales o repuestos utilizados en la atención de las averías.		5	3
IX.2.7 No se cuenta con las herramientas, equipos e instrumentos necesarios para la atención de averías.		5	2
IX.2.8 No existe personal capacitado para la atención de cualquier tipo de falla.		10	2
IX.3 Información sobre las averías			
Principio Básico			
La Organización de mantenimiento cuenta con el personal adecuado para la recolección, depuración, almacenamiento, procesamiento y distribución de la información que se derive de las averías, así como, analizar las causas que las originaron con el propósito de aplicar mantenimiento preventivo a mediano plazo o eliminar la falla mediante mantenimiento correctivo.	70		



ANEXO B

A
N
E
X
O
S



ANEXO C

A N E X O S

Tabla C.1. Base de datos de fallos para HPM (Honeywell).

MODULE	DESCRIPTION	MTTF (HOURS)	FAILURE RATE/10⁶h
HPPM SINGLE MHDBK217	SINGLE HPM	42923,98163	23,297
PAIH03+TAH22+MTL	HIGH LEVEL ANALOGUE IN (16) + FTA +MTL4787	87642,41893	11,41
PAOXxx+GAOX12 GIS	NON-REDUND AO (8) + GALVISOL FTA	52559,65521	19,026
PAOY22+ TAOY22	HIGH DENSITY AO (16) + FTA	50813,00813	19,68
PDIS11 + TDI11 DISOE	DIGITAL INPUT SOE MODULE + DIFTA	46425,25534	21,54
PDIXxx+GDID 12 G FTA	DIGITAL INPUT +GALVISOL FTA	42052,14466	23,78
PDOX02+TDON12 DINI	DIGITAL OUTPUT (16) +NON ISOLATED FTA	44682,75246	22,38
PDOX02+TDON12 DINI	DIGITAL OUTPUT (16) +NON ISOLATED FTA	49067,71344	20,38
PDOY22 +TDOY22	DIGITAL OUTPUT + STANDARD SS FTA	46425,25534	21,54
PLAM02+2XTAMT+TPA	LOWLEVEL MUX(32T/C)+2X FTA INCL POWER ADAPT	39416,63382	25,37
PSIM11+1xTSIM12+TLPA	SERIAL INTERFACE +POWER +1 X FTA PROCESSOR	42052,14466	23,78
PSTX03+GAIH13	GLIS SMART TRANSMITTER, LOSS>1 BARRIER	43802,01489	22,83
Fuente AC / DC	POWERS_20A/48VBATTERYBACK	26281,20894	38,05

Fuente Honeywell –Phoenix .Norma de fiabilidad MIL-HDBK-217F

Tabla C.2. Base de datos de fallos para válvulas de control (OREDA).

OREDA-2002

750

OREDA-2002

Taxonomy no 4.4.8.4.1		Item Control and Safety Equipment Valves Process control Diaphragm (5.1-10) inch									
Population 1	Installations 1	Aggregated time in service (10 ⁶ hours)					No of demands				
		Calendar time * 0.0263		Operational time † 0.0256							
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10 ⁶ hours)					Active rep.hrs	Repair (manhours)			
		Lower	Mean	Upper	SD	n / r		Min	Mean	Max	
Critical	1*	1.90	38.05	180.56	38.05	38.05	36.0	36.0	36.0	36.0	
	1†	1.95	38.05	185.29	38.05	38.05					
Unknown	1*	1.90	38.05	180.56	38.05	38.05	36.0	36.0	36.0	36.0	
	1†	1.95	38.05	185.29	38.05	38.05					
Degraded	2*	13.51	78.10	239.54	78.10	78.10	7.0	5.0	7.0	9.0	
	2†	13.88	78.10	245.82	78.10	78.10					
External leakage - Utility medium	1*	1.90	38.05	180.56	38.05	38.05	5.0	5.0	5.0	5.0	
	1†	1.95	38.05	185.29	38.05	38.05					
High output	1*	1.90	38.05	180.56	38.05	38.05	9.0	9.0	9.0	9.0	
	1†	1.95	38.05	185.29	38.05	38.05					
All modes	3*	31.20	114.16	295.09	114.16	114.16	18.7	5.0	16.7	36.0	
	3†	32.02	117.15	302.84	117.15	117.15					
Comments											

Fuente OREDA

Tabla C.3. Base de datos de fallos para instrumentos.

Instrumentos	Exponencial		Weibull	
	Fallos/año	Fallos/10 ⁶ horas	β (Factor de forma)	η (Factor de escala) . 10 ³
<i>Alarmas</i>	—	—	—	—
Circuito de alarma simple	0,03	0,05	—	—
Panel de alarmas	0,40	1,20	—	—
Bocina de alarma	0,04 a 0,4	0,05	0,5 a 3	1 a 125
<i>Analizador</i>	—	—	—	—
CO ₂	1 a 10	—	—	—
Conductividad	0,5 a 5	—	0,5 a 3	20 a 170
Punto de rocío	0,80	—	—	—
Oxígeno	0,5 a 5	—	—	—
Hidrógeno	0,80	—	—	—
pH	0,5 a 5	—	—	—
Cromatógrafo gas-líquido	30,00	—	0,5 a 3	20 a 120
H ₂ O (en gases)	8,00	—	—	—
Dureza del agua	10,00	—	—	—
<i>Caudal (fluidos)</i>	—	—	—	—
Presión diferencial	0,5 a 1,5	133,00	0,5 a 2	100 a 1.100
Área variable	0,3 a 1	—	0,5 a 2	100 a 1.100
Medidor magnético	0,5 a 2	—	0,5 a 2	100 a 1.100
Turbina	0,08 a 0,05	—	0,5 a 2	100 a 1.100
Desplazamiento positivo	0,1 a 1	25,00	0,5 a 2	100 a 1.100
<i>Caudal (sólidos)</i>	—	—	—	—
Célula de carga	4,00	7,00	—	—
Cinta transportadora	15,00	—	—	—
<i>Controlador</i>	0,2 a 0,4	100,00	0,5 a 2	1 a 1.000
<i>Convertidor corriente/presión(I/P)</i>	0,49	1.441,00	—	—
<i>Convertidor electroneumático</i>	0,02 a 0,07	1.441,00	—	—
<i>Detectores de incendios</i>	—	—	—	—
Ionización	0,03 a 0,06	—	—	—
Ultravioleta	0,04 a 0,05	—	—	—
Temperatura	0,008 a 0,07	—	—	—

Fuente Libro de fiabilidad y seguridad. Autor Antonio Creus. 2005

Tabla C.3.1. Base de datos de fallos para instrumentos.

Instrumentos	Exponencial		Weibull	
	Fallos/año	Fallos/10 ⁶ horas	β (Factor de forma)	η (Factor de escala) . 10 ³
Indicador galvanométrico (Corrimiento 30%) (Sin indicación 70%)	0,02 a 0,07 — —	— — —	— — —	— — —
Interruptor de caudal	0,3 a 0,3	—	—	—
Lazos de control	—	—	—	—
Presión	1,1 a 1,3	21,2	0,5 a 2	1 a 1.000
Caudal	1,5 a 2,1	35	0,5 a 2	1 a 1.000
Nivel	2,2 a 2,4	—	0,5 a 2	1 a 1.000
Temperatura	1 a 2	11	0,5 a 2	1 a 1.000
Manómetro	0,088	15	0,5 a 3	110 a 3.300
Nivel (líquidos)	1,7	—	0,5 a 3	14 a 500
Controlador local	0,03 a 0,2	—	0,5 a 1,1	20 a 200
Indicador	0,08 a 0,1	15	—	—
Nivel de vidrio	0,1 a 5	437	0,5 a 3	14 a 500
Interruptor	0,008 a 0,04	21	—	—
Pres. diferencial neumático	1,5 a 2	77	0,5 a 3	100 a 10.000
Pres. diferencial electrónico	0,03 a 2	—	0,5 a 1,1	20 a 200
Flotador	0,2 a 2	51	0,5 a 3	14 a 500
Capacitancia	0,22	—	0,5 a 3	14 a 500
Burbujeo	0,5 a 1	—	0,5 a 3	14 a 500
Conductividad	2,36	—	0,5 a 3	14 a 500
Nivel (sólidos)	7	125	—	—
Ordenador Mainframe	30 a 60	—	—	—
Mini	0,8 a 6	—	—	—
Micro (CPU)	9,2 a 0,8	—	—	—
Ordenador Tolerante a Fallos	0,002 a 0,00001	—	—	—
Peso - Célula de carga	3,5	38	—	—
Presión	—	—	—	—
Manómetro	0,1	16	0,5 a 3	110 a 3.300
Presostato	0,3	31	—	—
Registrador (gráfico de banda)	0,22	18	—	—
Relé neumático	0,17	20	—	—
Temperatura	0,35	56	—	—
Termopar	0,1 a 0,5	0,01	—	—
Sonda de resistencia	0,4	—	—	—
Termómetro de mercurio	0,03	3	—	—
Bulbo de presión de vapor	0,4	3	—	—
Transductor de temperatura	0,9	26	—	—
Pirómetro de radiación	2	—	—	—
Pirómetro óptico	10	—	—	—
Válvula de control	0,2 a 0,9	107	0,5 a 2	14 a 333
Solenoides	0,2 a 0,4	16	0,5 a 3	50 a 1.000
Alivio	0,022	7,5	0,5 a 3	100 a 1.000
Pistón	0,78	1,5	0,5 a 3	17 a 1.000
Posicionador	0,44	6	—	—
Válvula manual	0,13	573	—	—

Fuente Libro de fiabilidad y seguridad. Autor Antonio Creus. 2005