

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

**“METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA EL
MANTENIMIENTO DE OBRAS SANITARIAS”**

Realizado por:

Marcano Arismendi, Maria Eugenia
Serrano Valderrama, Yolimar Del Valle

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADA ANTE LA UNIVERSIDAD DE
ORIENTE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

BARCELONA, MAYO DE 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

**“METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA EL
MANTENIMIENTO DE OBRAS SANITARIAS”**

Realizado por:

Br. Maria Eugenia Marcano A.

Br. Yolimar del Valle Serrano V.

Revisado y Aprobado por:

Prof. Hilda Morales.

BARCELONA, MAYO DE 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**“METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA EL
MANTENIMIENTO DE OBRAS SANITARIAS”**

El Jurado hace constar que asignó a esta tesis la clasificación de:

Asesor:

Prof. Hilda Morales

Asesor Académico

Jurado:

Prof. Ana Ghanem

Jurado Principal

Prof. María Ramírez

Jurado Principal

BARCELONA, MAYO DE 2010.

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 57 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Para la aprobación definitiva de los Cursos Especiales de Grado, como modalidad de Trabajo de Grado, será requisito parcial la entrega a un jurado calificador, de una monografía en la cual se profundiza en uno o mas temas relacionados con el área de concentración”.

DEDICATORIA

Principalmente a mí porque tuve la voluntad de hacer el cambio de una carrera buena a una mejor, sin importar los obstáculos que me encontré en el camino.

A Dios por darme salud, fuerza, y motivación para seguir adelante en todo momento.

A mis padres Lady Arismendi y Antonio Marcano por apoyarme en mis decisiones y aceptar mi carrera sin prejuicios.

A mis hermanos Jenny Marcano y Xavier Marcano por estar presente.

A mi abuela Juana Guerra y el resto de mi familia (tíos, primos, y los hijos de mis primos) por estar pendiente de mi y darme apoyo en todo momento.

Y a mi sobrinos Maria Gracia Boadas Marcano y Xavier Enrique Marcano por darme alegría y porque ustedes serán los que disfruten mi éxito.

Maria Eugenia Marcano A.

DEDICATORIA

A Dios y a mi Virgencita Del Valle por guiar mis pasos e iluminar mi camino.

A mí por todo el esfuerzo que hice y los obstáculos que tuve que vencer para ver realizada esta meta.

A mi Esposo Johnny por estar siempre conmigo y brindarme todo su amor y comprensión.

A mi Madre Omaira y mi Padre Luis, por no dejar en ningún momento de incentivar mi sueño.

A mis Hermanas Lismar y Yurimar por creer que mi lucha tendría un sentido.

A mi amiga Elianny Vasquez, que me acompaño en todo momento, aun y cuando no esta físicamente entre nosotros se que hoy estaría feliz de ver mi sueño realizado.

Yolimar Serrano Valderrama

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud, fortaleza y hacer de mi una persona de bien, dedicada y responsable.

A mis padres Lady y Antonio por ser pacientes, apoyarme en todo lo que necesité a lo largo de mi carrera, y sentirse orgullosos de mi.

A mis hermanos Jenny y Xavier, y mis primos Leidy, lolita, jorgito, carlitos, Juan, Alejandro. Melissa y mi Cleiver Isaac por estar presente, brindarme apoyo y prestarme ayuda incondicional en cada momento que he necesitado de ustedes.

A mi abuela Juana que ha estado presente en todos los momentos de mi vida, a mis tíos: Doris Arismendi, José Arismendi, Eudis Arimendi, Damelis Arismendi, Carlos Sosa, Cleiver Barradas y Yorma Pietrucci por esperar con ansias este momento y estar siempre disponible para mí cuando fuese necesario.

A mis amigos del colegio M.O.S por estar siempre pendiente de mis avances de la carrera.

A mis amigas de ECA Romina Sifontes y Eglibeth Rojas no solo por ser mis primeras amigas en la UDO sino por enseñarme a trabajar en grupo.

A Harold Romero por brindarme sus conocimientos a lo largo de mi carrera y enseñarme muchas de las cosas que hoy en día se, y por estar ahí dispuesto a ayudar siempre.

A mis amigos Gabriel Moutinho y Juan Carlos Bellido por prestarme su colaboración, compartir sus conocimientos de manera absoluta siempre.

A Maria Albornett no solo por ser mi compañera de clases sino por ser mi amiga en todo momento, por ayudarnos a levantarnos y celebrar cuando estamos en la cima.

A mi madrina Maria Milagros Campos y su esposo Fredys Albornett, por recibirme como un miembro más en su familia, por su ayuda y apoyo en las buenas y malas.

A Bianca Aular, Gabriel Abornett, y Joanna Ramos por contagiarme de su alegría y por estar ahí siempre presente.

A nuestra asesora Hilda Morales por confiar en nosotros y asignarnos estos temas que nos proporcionó enseñanzas para retos futuros.

Al Ingeniero José Pereira y todo el Departamento de la Superintendencia de Mantenimiento de la Empresa Hidrocaribe (Innova) por la ayuda prestada en la recolección de datos e información.

A los egresados de ingeniería civil que actualmente laboran en la empresa hidrocaribe por haber intercedido por nosotros para la obtención de datos e información que tanto nos costó conseguir.

A mis Compañeros de Áreas, en especial a Yolimar Serrano (Yoli), Luís Rodríguez (Morocho), Andrea Escobar (Chiki), Mirca García y Felipe Caraballo por Haber hecho un buen equipo de trabajo junto a mí y hacer posible la realización de este trabajo de investigación.

Maria Eugenia Marcano A.

AGRADECIMIENTOS

A mi Madre Omaira por ser el pilar fundamental de mi familia.

A mi Padre Luís por ser la persona que me dio el impulso para iniciar mis estudios universitarios y ser un ejemplo a seguir.

A mi Esposo Johnny por creer en mí y brindarme todo su apoyo.

A mi Amiga Analia por hacerme parte de su familia.

A mi Tutor la Prof. Hilda Morales por su ayuda valiosa.

A los Profesores Miguel Molano, Luís Seijas y Freddy López por toda la ayuda prestada a lo largo de mi carrera.

A mis Compañeros de Estudio, en especial a Maria Eugenia Marcano (Peque), Luís Rodríguez (Morocho), Andrea Escobar (Chiqui), Mirca García y Felipe Caraballo por ser un grupo responsable y dedicado.

Al Ingeniero José Pereira y todo el Departamento de la Superintendencia de Mantenimiento de la Empresa Hidrocaribe (Innova) por la ayuda prestada en la recolección de datos e información.

A mis amigos Adalberto Rosal, Claudia Netti, Reinaldo Rodríguez y Janeth Sánchez por ser incondicionales.

Yolimar Serrano Valderrama

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
AGRADECIMIENTOS	ix
CONTENIDO	x
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTADO DE FIGURAS	xv
RESUMEN.....	xvi
CAPITULO I.....	17
1.1 Introducción	17
1.2 Planteamiento del Problema.....	19
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo General:.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	21
CAPITULO II	22
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	22
2.2 Bases Teóricas.....	22
2.2.1 Obras Sanitarias:	23
2.2.2 Estación de Bombeo:	23
2.2.2.1 Elementos de las Estaciones de Bombeo:	24
2.2.3 Mantenimiento	24

2.2.3.1 La Evolución Organizacional del Mantenimiento	24
2.2.3.2 Finalidad del Mantenimiento	26
2.2.4 Definición de Confiabilidad ($R_{(T)}$)	26
2.2.4.1 Definiciones y Aspectos Generales:.....	26
2.2.4.2 Análisis de la Confiabilidad:.....	28
2.2.4.3 Importancia de la Confiabilidad.....	28
2.2.4.4 La Medición de la Confiabilidad.....	29
2.2.4.5 Elementos Básicos de Confiabilidad.....	30
2.2.5 Concepto de RCM O MCC	33
2.2.5.1 El Objetivo de RCM y las Fases del Proceso.....	34
2.2.5.2 Beneficios del RCM.....	36
2.2.6 Métodos Estadísticos para Estimar la Confiabilidad:	36
2.2.6.1 Modelos Paramétricos:.....	36
2.2.6.1.1 Distribución Exponencial:.....	37
2.2.6.1.2 Distribución de Weibull:	41
2.2.6.2 Definiciones Fundamentales del Modelo no Paramétrico:	50
2.2.6.3 Modelo No Paramétricos:	51
2.2.6.3.1 La Prueba X^2 de Pearson.....	53
2.2.6.3.2 La Prueba de Anderson-Darling	53
2.2.6.3.3 La Prueba de Friedman	54
2.2.6.3.4 La Prueba de Kruskal-Wallis (De William Kruskal Y W. Allen Wallis).....	55
2.2.6.3.5 La Prueba de la Mediana.....	57
2.2.6.3.6 El Coeficiente de Correlación de Spearman, P:	58
2.2.6.3.7 La Prueba de los Signos de Wilcoxon:	59
2.2.7 ¿Qué es AMEF?	60
2.2.7.1 Requerimientos del AMEF	60
2.2.7.2 Beneficios del AMEF.....	61
2.2.7.3 Desarrollo del AMEF	62

2.2.7.4 Formato y Elementos del AMEF	63
2.2.8 Norma COVENIN:.....	71
CAPITULO III.....	73
3.1 Descripción del Sistema Operativo de la Estación de Bombeo de La Caraqueña:	73
3.2 Plan de Mantenimiento Basado en RCM	74
3.2.1 Fase 0: Listado y Codificación de Equipos.....	75
3.2.2 Fase 1: Listado de Funciones y Especificaciones.....	76
3.2.3 Fase 2: Determinación de Fallos Funcionales y Técnicos	77
3.2.4 Fase 3: Determinación de los Modos de Fallo.....	77
3.2.5 Fase 4: Análisis de la Gravedad de los Fallos. Criticidad.....	77
3.2.6 Fase 5: Determinación de Medidas Preventivas	78
3.2.7 Fase 6: Obtención del Plan de Mantenimiento y Agrupación de Medidas Preventivas	81
3.3 Aplicación de Métodos que se Adaptan al Registro de Fallas Suministrado por la Empresa Hidrocaribe:.....	88
3.3.1 Distribución Exponencial.....	88
3.3.2 Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).....	89
3.3.3 Comparación de Métodos Aplicados	93
3.4 Selección del Método Apropriado según los Resultados de los Metodos Aplicados para Mejorar la Confiabilidad de la Estación de Bombeo “La Caraqueña”	93
3.5 Flujograma	94
CAPITULO IV	95
4.1 Conclusiones	95
4.2 Recomendaciones.....	96
BIBLIOGRAFÍA CITADA	97
BIBLIOGRAFIA.....	97

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL	99
ANEXOS	100
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Tareas del mantenimiento según su criticidad del fallo.....	80
Tabla 3.2 Inventario de Equipo de la Estación de Bombeo de “La Caraqueña”	82
Tabla 3.3 Registro de Fallas.....	84
Tabla 3.4 Localización de las fallas	86
Tabla 3.5 Análisis de Modo y Efecto de la Falla Potencial	90

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. División organizacional del mantenimiento	25
Figura 2.1 y 2.2. Probabilidad de fallas	28
Figura 3. Ilustra el enfoque de RCM.....	30
Figura 4. Gráfica de Funcionamiento de un Equipo.	37
Figura 5. Curva de Supervivencia.....	39
Figura 6. Propiedades de la Distribución Exponencial.	41
Figura 7. Variación de la densidad de probabilidad $f(t)$, tasa de fallos $\lambda(t)$ y la función acumulativa de fallos $F(t)$ en función del tiempo para distintos valores del parámetro de forma β	45
Figura 8. Muestra de Papel Weibull.....	48
Figura 9. Lectura de los Parámetros H Y β en el Papel de Weibull.....	49
Figura 10. Ubicación satelital de la estación de bombeo La Caraqueña.....	74
Figura 11. Esquema de los niveles de una estación de bombeo.....	75

RESUMEN

Este trabajo de investigación se realizó con el fin de incentivar a las empresas a realizar el mantenimiento de los sistemas, ya que se acostumbra a realizarse después que estos comienzan a fallar, generando las probabilidades de fallar y hacer poco confiable los procesos.

Para llevar a cabo la implementación de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM o MCC) en la estación de bombeo de “La Caraqueña”, Puerto la Cruz, se investigaron y analizaron los distintos métodos de cálculos en las distintas bibliografías consultadas, basándose éstos en el Análisis de Modos de Fallas del sistema, producidas por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.

La metodología en que se basa el RCM o MCC, supone ir completando una serie de fases los elementos que componen la estación, identificando las fallas, clasificándolas, y adoptando medidas preventivas que eviten o minimicen sus efectos y cuyos costos sean proporcionales a su importancia.

La información obtenida con las actividades descritas obliga al uso de modelos paramétricos, ya que estos se ajustan al número de datos obtenidos en la investigación, y para sustentar los resultados obtenidos se usa el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) como herramienta clave para mejorar la confiabilidad del sistema en operación.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Una buena parte de la población venezolana carece de cultura en muchos de sus aspectos importantes, entre los que destaca uno de gran trascendencia como lo es el que se refiere al mantenimiento, analizando éste tanto en el ambiente de la práctica laboral como en el desempeño de funciones gerenciales.

Es probable que en Venezuela se puedan modificar, a largo plazo, las conductas existentes mediante una aplicación de enseñanzas sobre el mantenimiento dentro de las mismas empresas, para generar una cultura organizacional de carácter tecnológico que se oriente hacia la obtención de un producto final óptimo. El mantenimiento debe tener una visión de carácter gerencial, con la que se logre maximizar la efectividad de sus recursos, analizar adecuadamente la información para la toma de decisiones y contribuir en la conformación de una cultura organizacional que cree conciencia sobre la necesidad del mantenimiento y haga partícipe a todas las personas involucradas, directa e indirectamente, en el proceso correspondiente.

Debido a lo acelerado y complejo que resulta actualmente la Toma de Decisiones en los procesos productivos, muchas veces las empresas se ven obligadas a ejecutar acciones de inversión basadas en información incompleta, incierta o difusa, debiendo a su vez producir con más bajo costo, mejor calidad y mayor nivel de Confiabilidad. Es por ello que muchas de las más importantes empresas del mundo utilizan cada vez más intensamente las disciplinas y metodologías de Ingeniería de Confiabilidad.

El método centrado en la confiabilidad (RCM o MCC) es un proceso analítico y sistemático basado en el entendimiento de la función de los sistemas y las fallas

funcionales. El corazón de este proceso es una metodología de análisis sistemático de los Modos y Efectos de Falla (AMEF), que pudieran ocurrir en un equipo específico, evaluados en su contexto operacional.

Este trabajo de investigación se va a realizar con la intención de comprender la necesidad e importancia del mantenimiento de las obras sanitarias en Venezuela, ya que es necesario conocer las características y aspectos básicos que contribuyen en la aparición de fallas en estos sistemas.

El estudio de la obra sanitaria se realizará utilizando datos suministrados por la hidrológica Hidrocaribe que se encarga de prestar el servicio en la zona. Tomando la estación de bombeo de “La Caraqueña” en Puerto La Cruz, con respecto, al mantenimiento que se le realiza a dicha estación, y de esta manera obtener los ejemplos basados en situaciones reales.

1.2 Planteamiento del Problema

La Universidad de Oriente, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas del Departamento de Ingeniería Civil, del Núcleo del Estado Anzoátegui, se está dando inicio en su programación académica, a la cátedra en Mantenimiento de Obras Sanitarias dictada en Las Áreas Especiales de Grado, con la finalidad de difundir u orientar al estudiantado sobre la gerencia de mantenimiento, por la necesidad actual de optimizar los procesos para disminuir la utilización de recursos. Con esto se espera que los profesionales egresados, cuenten con técnicas sobre el mantenimiento que va a servir en mejoras del ejercicio profesional y el ambiente laboral.

La falta de mantenimiento constituye una problemática habitual, que ha venido afectando gravemente el funcionamiento de equipos y sistemas y ocasionado el deterioro acelerado, de la calidad en la prestación de servicios en nuestro país durante muchos años, situación que lamentablemente aún perdura, sin indicadores de mejoría,

ocasionando incuantificables daños económicos. En otro orden de ideas y considerando, entre un conjunto de factores, que la cultura está constituida por todas las actividades realizadas por el hombre, podemos afirmar, con el soporte de innumerables hechos cotidianos, que buena parte de la población venezolana carece de cultura en muchos de sus aspectos importantes entre los cuales se destaca uno de gran trascendencia como lo es el que se refiere al mantenimiento, analizando éste tanto en el ambiente de la práctica laboral como en el desempeño de funciones gerenciales.

Entre las herramientas que se tienen para obtener una obra confiable se encuentra un método conocido como: Análisis de confiabilidad, el cual, permite pronosticar la producción, pérdida y la indisponibilidad de un proceso de producción de acuerdo a su configuración, confiabilidad de sus componentes, políticas de mantenimiento, recurso disponible y filosofías operacionales. Cabe destacar que la confiabilidad, impacta directamente sobre los resultados de la empresa, debiendo aplicarse no sólo a máquinas o equipos aislados sino a la totalidad de los procesos que integran la cadena de valor de la organización.

En este trabajo de investigación se pretende establecer una metodología de análisis de confiabilidad para el mantenimiento de obras sanitarias, con el fin de obtener una base de datos que nos permita verificar la disponibilidad de recursos humanos y materiales, la probabilidad de ocurrencia de eventos especiales no deseados (Fallas) basadas en la selección del método de cálculo más adecuado entre los sugeridos en las diferentes fuentes bibliográficas, con el propósito de que dicho trabajo sirva de base inicial, ya sea para la puesta en práctica, como material informativo o profundizar en trabajos posteriores relacionado con este tipo de mantenimiento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Elaborar una metodología de análisis de confiabilidad para el mantenimiento de obras sanitarias basadas en la selección del método de cálculo mas adecuado entre los sugeridos en las diferentes fuentes bibliográficas.

1.3.2 Objetivos Específicos:

1. Investigar acerca de los diferentes métodos de cálculos existentes en la literatura para el análisis de confiabilidad para el mantenimiento de obras sanitarias.
2. Comparar cada una de las metodologías encontradas en base a ejemplos de cálculos y análisis de resultados.
3. Seleccionar la metodología de cálculo mas adecuada.
4. Elaborar un diagrama de flujo del análisis de confiabilidad para el mantenimiento de obras sanitarias en base a la metodología seleccionada.

CAPITULO II

BASES TEÓRICAS

2.1 Antecedentes de la Investigación

Sotillo. T, Gerardo. J [1], Realizó en 2002, un diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad, con el fin de incentivar a las personas a realizar mantenimientos preventivos en lugar de mantenimientos correctivos, para ello elaboró un contexto operacional, seguidamente realizó un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) y por último elaboró un hoja de decisiones, el cual es donde se determinan las tareas de mantenimiento a realizar, quiénes y cuándo deben realizarse, etc.

Basantes. A. Luís A. [2], realizó en 2004, un diseño de un plan de mantenimiento para los sistemas de aguas blancas de PDVSA Gas, Distrito Anaco, utilizando las técnicas de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Con el fin de reducir la cantidad de actividades no programadas, y a su vez utilizó la técnica de toma de decisiones para seleccionar la muestra representativa del sistema de agua.

Guerra. M, Esteban. R. [3], Realizó en 2007, un diseño de plan estratégico de mantenimiento preventivo basado en la filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para una planta incineradora, el cual hizo un diagnóstico de la situación de la planta en ese momento, Formuló estrategias para mitigar los factores que afectaban el comportamiento de los equipos, y a su vez implemento otras estrategias para capacitar al personal que laboraba en el mantenimiento de la planta.

2.2 Bases Teóricas

A continuación se presentan definiciones necesarias en el análisis de confiabilidad:

2.2.1 Obras Sanitarias:

Se entiende por obra hidráulica o infraestructura hidráulica a una construcción, en el campo de la ingeniería civil, donde el elemento dominante tiene que ver con el agua.

2.2.2 Estación de Bombeo:

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución. También se puede decir que las estaciones de bombeo son estructuras destinadas a elevar un fluido desde un nivel energético inicial a un nivel energético mayor. Su uso es muy extendido en los varios campos de la ingeniería, así, se utilizan en:

- Redes de abastecimiento de agua potable, donde su uso es casi obligatorio, salvo en situaciones de centros poblados próximos de cadenas montañosas, con manantiales situados a una cota mayor.
- Red de alcantarillado, cuando los centros poblados se sitúan en zonas muy planas, para evitar que las alcantarillas estén a profundidades mayores a los 4 - 5 m.
- Sistema de riego, en este caso son imprescindibles si el riego es con agua de pozos no artesianos.
- Sistema de drenaje, cuando el terreno a drenar tiene una cota inferior al recipiente de las aguas drenadas.
- En muchas plantas de tratamiento tanto de agua potable como de aguas servidas, cuando no puede disponerse de desniveles suficientes en el terreno.
- Un gran número de plantas industriales.

2.2.2.1 Elementos de las Estaciones de Bombeo:

Los componentes básicos de una estación de bombeo de agua potable son los siguientes:

- Caseta de bombeo.
- Cisterna de bombeo.
- Equipo de bombeo.
- Grupo generador de energía y fuerza motriz.
- Tubería de succión.
- Tubería de impulsión.
- Válvulas de regulación y control.
- Equipos para cloración.
- Interruptores de máximo y mínimo nivel.
- Tableros de protección y control eléctrico.
- Sistema de ventilación, natural o mediante equipos.
- Área para el personal de operación.
- Cerco de protección para la caseta de bombeo.

2.2.3 Mantenimiento

Comprende todas aquellas actividades necesarias equipos e instalaciones en una condición particular condición.

2.2.3.1 La Evolución Organizacional del Mantenimiento

Alrededor del año 1950, con el desarrollo de la industria para satisfacer los esfuerzos de la posguerra, la evolución de la aviación comercial y de la industria electrónica, los Gerentes de Mantenimiento observaron que, en muchos casos, el tiempo empleado para diagnosticar las fallas, era mayor que el tiempo empleado en la ejecución de la reparación, y seleccionaron grupos de especialistas para conformar un órgano asesor que se llamó Ingeniería de Mantenimiento y recibió las funciones de

planificar y controlar el mantenimiento preventivo analizando causas y efectos de las averías

En este final de siglo, con las exigencias de incremento de la calidad de los productos y servicios, hechas por los consumidores, el mantenimiento pasó a ser un elemento importante en el desempeño de los equipos, en un grado de importancia equivalente a lo que se venía practicando en operación. Estas etapas evolutivas del Mantenimiento, se caracterizaron por la Reducción de Costos y por la Garantía de la Calidad (a través de la confiabilidad y la productividad de los equipos) y Cumplimiento de los tiempos de ejecución (a través de la disponibilidad de los equipos).

Por otro lado el mantenimiento también tiene sus proveedores, o sea: los contratistas que ejecutan algunas de sus tareas, el área de materiales que abastece los repuestos y material de uso común, el área de compras que adquiere materiales y nuevos equipos etc.; siendo todos ellos importantes para que el cliente final de la empresa se sienta bien atendido. Hoy en día es indiscutible que un mal mantenimiento y baja confiabilidad significan: bajos ingresos, más costos de mano de obra, clientes insatisfechos y productos de mala calidad.

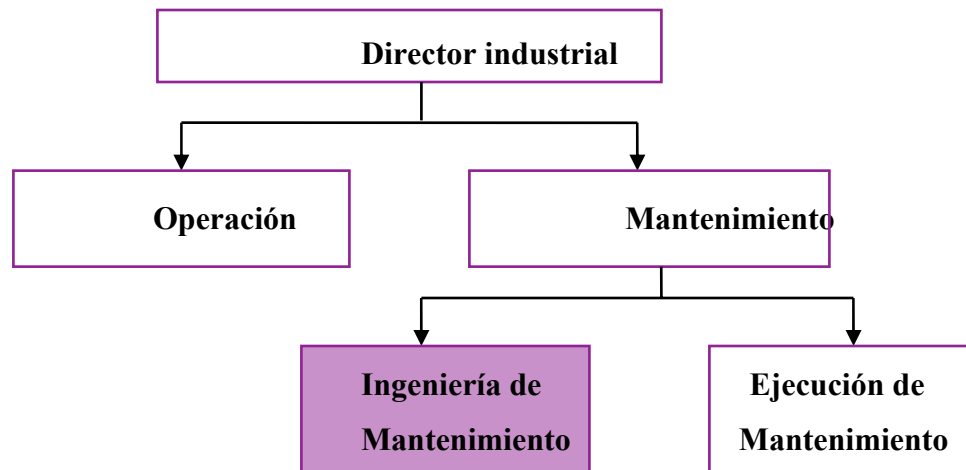


Figura 1. División organizacional del mantenimiento [4]

2.2.3.2 Finalidad del Mantenimiento

Conservar la planta industrial con el equipo, los edificios, los servicios y las instalaciones en condiciones de cumplir con la función para la cual fueron proyectados con la capacidad y la calidad especificadas, pudiendo ser utilizados en condiciones de seguridad y economía de acuerdo a un nivel de ocupación y a un programa de uso definidos por los requerimientos de Producción.

2.2.4 Definición de Confiabilidad ($R_{(T)}$)

Se puede definir como la capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir también como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

$$R(t) = P(T > t) \text{ Confiabilidad} \quad \text{(EC.1)}$$

2.2.4.1 Definiciones y Aspectos Generales:

Se presentan las siguientes definiciones:

Probabilidad:

Indica la posibilidad de ocurrencia de un suceso. Es un número comprendido entre cero (0) y uno (1).

La probabilidad de un suceso que es seguro que ocurra es uno (1), mientras que la probabilidad de un suceso que no es posible que ocurra es cero (0).

La probabilidad se mide mediante la relación:

$$P = \frac{\text{NUMERODECASOSFAVORABLES}}{\text{NUMERODECASOSPOSIBLES}} \leq 1 \quad \text{(EC.2)}$$

Equipo:

Es un bien económico, técnico y sujeto a mantenimiento.

Sistema:

Es el conjunto de equipos que interactúan para el cumplimiento de una función determinada.

Condiciones de utilización:

Es evidente que un mismo equipo o componente situado en dos contextos diferente no necesariamente tendrá la misma confiabilidad. Depende de la velocidad, la carga, medio ambiente, etc.

Matemáticamente, la confiabilidad o probabilidad de falla $F_{(t)}$ de un equipo o sistema, se estima, mediante la siguiente expresión.

$$F_{(t)} = \int_0^t f_{(t)} dt \quad t \geq 0 \quad \text{(EC.3)}$$

Donde: $f_{(t)}$ es la función de densidad de probabilidad de falla.

Probabilidad complementaria:

En vista que $R_{(t)}$ y $F_{(t)}$ son complementarios y además son probabilidades, se debe cumplir que:

$$\mathbf{R_{(t)} + F_{(t)} = 1} \quad \text{(EC.4)}$$

Donde:

$R_{(t)}$: probabilidad de supervivencia o confiabilidad.

$F_{(t)}$: Probabilidad de falla.

En las figuras 2.1 se observa que la probabilidad de falla es creciente con el tiempo, mientras que en la 2.2, la confiabilidad disminuye con el tiempo. [5]

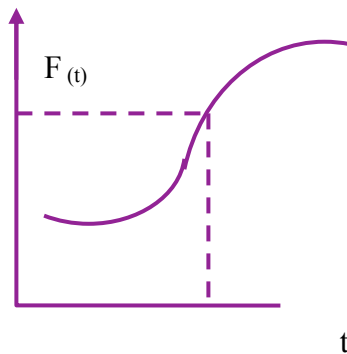


Figura 2.1

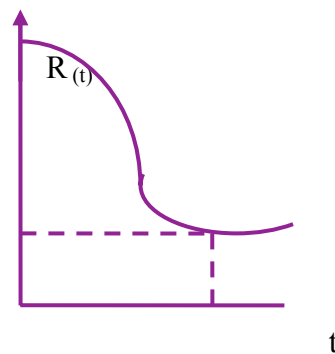


Figura 2.2

Figura 2.1 y 2.2. Probabilidad de fallas

2.2.4.2 Análisis de la Confiabilidad:

La ejecución de un análisis de la confiabilidad en un producto o un sistema debe incluir muchos tipos de exámenes para determinar cuan confiable es el producto o sistema que pretende analizarse.

Una vez realizados los análisis, es posible prever los efectos de los cambios y de las correcciones del diseño para mejorar la confiabilidad de la obra a utilizar.

Los diversos estudios del producto se relacionan, vinculan y examinan conjuntamente, para poder determinar la confiabilidad del mismo bajo todas las perspectivas posibles, determinando posibles problemas y poder sugerir correcciones, cambios y/o mejoras en productos o elementos.

2.2.4.3 Importancia de la Confiabilidad

Para que los resultados de un instrumento puedan ser interpretables; es decir, para que tengan significado y valor heurísticos, es necesario que los mismos sean confiables. No es posible determinar la relación entre dos o más variables si los instrumentos utilizados para medirlas son poco confiables. Este tipo de instrumentos, a menudo, inducen al investigador a interpretaciones erradas de sus resultados. Por ejemplo, un experimento educativo, en el cual se ha evaluado el efecto de una nueva estrategia instruccional, pudiera parecer poco efectivo, aun habiendo tenido un

impacto altamente significativo en el aprendizaje de los alumnos, simplemente porque los instrumentos utilizados para medir las variables dependientes eran poco confiables.

La confiabilidad, aun cuando no es la característica más importante de un instrumento de medición, requiere se le preste toda la atención que sea necesaria. Ciertamente, una alta confiabilidad, por si sola, no garantiza “buenos” resultados científicos. Pero, no puede haber “buenos” resultados científicos sin instrumentos confiables. En síntesis, la confiabilidad es una condición necesaria, pero no suficiente para obtener resultados de investigación que sean científicamente valiosos y socialmente útiles.

2.2.4.4 La Medición de la Confiabilidad

Existen diferentes formas de medir la confiabilidad de una prueba. Se puede computar un estimado de la confiabilidad a partir de las correlaciones observadas. También se pueden correlacionar los resultados de dos formas alternas de la misma prueba o partir la prueba en dos mitades y observar la correlación entre ambas partes. Esto último es útil siempre y cuando se use un criterio apropiado para distribuir los ítems en la prueba. En la figura 3 se ilustra el enfoque de Análisis de confiabilidad (RCM o MCC)

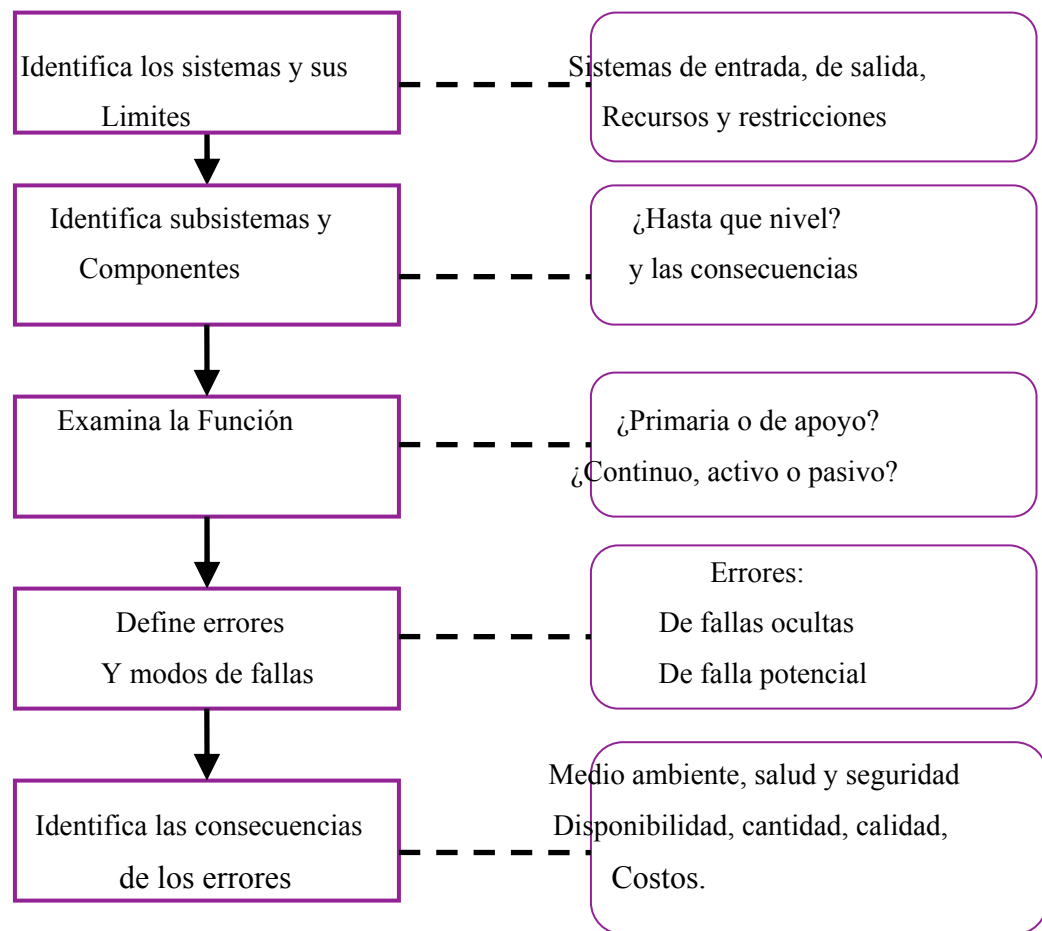


Figura 3. Ilustra el enfoque de RCM. [6]

2.2.4.5 Elementos Básicos de Confiabilidad

Los análisis de confiabilidad están conformados por una serie de elementos intrínsecos en las estructuras de los procesos, así como una serie de herramientas y filosofías, los cuales al ser interrelacionados proporcionan la información referencial para la toma de decisiones en cuanto al direccionamiento de los planes de mantenimiento.

Los elementos de confiabilidad intrínsecos en el comportamiento de los procesos y las instalaciones son los siguientes:

Falla:

Disminución o pérdida de la función del componente con respecto a las necesidades de operación que se requieren para un momento determinado. Es la incapacidad de cualquier elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. Esta condición puede interrumpir la continuidad o secuencia ordenada de un proceso, donde ocurren una serie de eventos que tienen más de una causa. Existen dos tipos de falla, las cuales son explicadas a continuación:

- Falla funcional: Es la capacidad de cualquier elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. Por ejemplo, un equipo deja de funcionar totalmente.
- Fallas Parciales (Potenciales): Se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional. Estas fallas están por encima o por debajo de los parámetros identificados para cada función. Por ejemplo, el elemento no cumple un estándar o parámetro establecido de su servicio.

Las causas de cualquier falla pueden ubicarse en una de estas siete categorías:

- Defectos de diseño
- Defectos de materiales
- Manufactura o procesos de fabricación defectuosos
- Ensamblaje o instalación defectuosos
- Imprevisiones en las condiciones de servicio
- Mantenimiento deficiente
- Malas prácticas de operación

Para identificar y analizar las fallas, se requiere de un profundo conocimiento del sistema, las operaciones, el personal y los métodos de trabajo, por lo tanto es el resultado de un trabajo en equipo.

Probabilidad de Falla:

Posibilidad de ocurrencia de un evento en función del número de veces que ha ocurrido para un equipo o familia de equipo en un período específico.

Modelos de Fallas de Equipos

El modelo A es conocido como la curva de la bañera. Comienza con un período de mortalidad infantil (falla de infancia) que tiene una incidencia de falla alta que va decreciendo a medida que transcurre el tiempo, la frecuencia de falla disminuye hasta llegar a estabilizarse en un índice aproximadamente constante. Luego comienza el período de operación normal (falla aleatoria) donde el índice de fallas permanece aproximadamente constante y éstas pueden ocurrir en cualquier edad. Por último ocurre el período de desgaste (falla por edad) que se caracteriza porque el índice de fallas aumenta a medida que transcurre el tiempo.

El modelo B es la llamada curva de la falla tradicional, donde el índice de fallas aumenta a medida que transcurre el tiempo.

El modelo C se diferencia de los modelos A y B en que registra un deterioro constante desde el principio, con una probabilidad de falla que aumenta con el uso.

El modelo D corresponde a un elemento cuya probabilidad de falla es baja cuando es nuevo, luego ocurre un incremento rápido de falla seguido de un comportamiento aleatorio.

El modelo E representa un elemento que tiene la misma probabilidad de falla en cualquier momento y muestra que no hay relación entre la edad funcional de los equipos y la probabilidad de que fallen.

El modelo F es la llamada curva de la “J invertida”, y combina la mortalidad infantil muy alta con nivel constante de falla luego de esta dificultad inicial.

Los modelos A, B y C están asociados al envejecimiento y en el punto de desgaste definitivo se produce un incremento rápido de la probabilidad de fallas. Las características de desgaste definitivo ocurren más a menudo en los equipos que están en contacto directo con el producto; en general estos modelos son aplicados a equipos

sencillos. Los modelos D, E y F no están asociados al envejecimiento y se caracterizan porque después de un período inicial, la relación entre confiabilidad y la edad operacional es mínima o nula; estos modelos son típicos de los equipos de electrónica, hidráulica y neumática.

Consecuencia:

Cuantificación de la magnitud de pérdida financiera que registra una empresa producto de la ocurrencia de un evento.

Riesgo:

Nivel final ponderado de un equipo, sistema o instalación en un matriz que determina el grado de pérdida potencial asociada a un evento con probabilidad no despreciable de ocurrencia en el futuro.

Incertidumbre:

Grado de desconocimiento sobre el comportamiento de una condición o activo.

Sensibilidad:

Modelaje de escenarios sobre las premisas de la peor, mejor y más probable situación.

Predictibilidad:

Pronóstico de ocurrencia de un evento en función del producto del nivel de riesgo con la condición de integridad del activo.

2.2.5 Concepto de RCM O MCC

El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo

utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, etc.

El RCM muestra que muchos de los conceptos del mantenimiento que se consideraban correctos son realmente equivocados. En muchos casos, estos conceptos pueden ser hasta peligrosos. Por ejemplo, la idea de que la mayoría de las fallas se producen cuando el equipo envejece ha demostrado ser falsa para la gran mayoría de los equipos industriales.

2.2.5.1 El Objetivo de RCM y las Fases del Proceso

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad MCC o RCM, es aumentar la disponibilidad y disminuir costos de mantenimiento. El análisis de una Estación de Bombeo según esta metodología aporta una serie de resultados.

- Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas. Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la Estación de Bombeo. Las acciones de tipo preventivo que evitan fallos y que por tanto incrementan la disponibilidad de la Estación de Bombeo son de varios tipos:
 - Tareas de Mantenimiento, que agrupadas forman el Plan de Mantenimiento
 - Procedimientos Operativos
 - Modificaciones o mejoras posibles
 - Definición de una serie de acciones formativas realmente útiles y rentables

- Determinación del stock de repuestos que es deseable que permanezca en la Estación de Bombeo

El mantenimiento centrado en confiabilidad se basa en el análisis de fallos, tanto aquellos que ya han ocurrido, como los que se están tratando de evitar con determinadas acciones preventivas como por ultimo aquellos que tienen cierta probabilidad de ocurrir y pueden tener consecuencias graves. Durante ese análisis de fallos debemos contestar a siete preguntas claves:

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
2. ¿Cómo falla cada equipo?
3. ¿Qué sucede cuando hay fallo? (efectos de los fallos).
4. ¿Cuál es la causa de cada fallo?
5. ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
6. ¿Cómo pueden evitarse cada fallo?
7. ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

La metodología en la que se basa RCM supone ir completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la Estación de Bombeo, a saber:

- **FASE 0: Codificación y listado** de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.
- **FASE 1: Estudio detallado del funcionamiento del sistema.** Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.
- **FASE 2: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.**
- **FASE 3: Determinación de los modos de fallo** o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.

- **FASE 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo.** Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias.
- **FASE 5: Determinación de medidas preventivas** que eviten o atenúen los efectos de los fallos.
- **FASE 6: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías.** Elaboración del Plan de Mantenimiento, listas de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.
- **FASE 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas.**

2.2.5.2 Beneficios del RCM

La implementación del RCM debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costos (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto, y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones.

2.2.6 Métodos Estadísticos para Estimar la Confiabilidad:

Entre los métodos estadísticos para estimar la confiabilidad tenemos: El modelo paramétrico y el modelo no paramétrico.

2.2.6.1 Modelos Paramétricos:

Las distribuciones paramétricas de probabilidad son funciones matemáticas teóricas, que relacionen los diversos probables valores que puede tomar una variable aleatoria, con la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos. Describen la forma en que se espera se comporte una variable.

- Distribución exponencial.

- Distribución de Weibull.
- Distribución de Carga- Resistencia.

2.2.6.1.1 Distribución Exponencial:

Corresponde a una tasa de falla constante, ocurre en la segunda fase de la vida de numerosos componentes. Las fallas aparecen con causas independientes entre ellas e independientes del tiempo.

$$R = e^{-\lambda t} \quad (\text{Ec.5})$$

Tiempo utilizado entre fallas (TEF):

Se refiere al tiempo que es capaz de operar un equipo o sistema sin interrupciones del periodo considerado de estudio. El período inicia desde la puesta en servicio del equipo hasta la aparición de una falla.

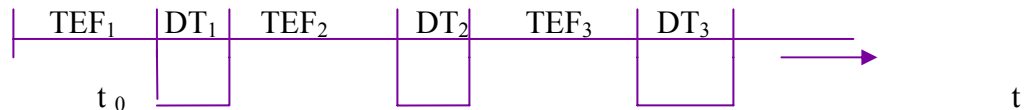


Figura 4. Gráfica de Funcionamiento de un Equipo. [5]

Tiempo medio hasta un fallo (MTTF)

La calidad de funcionamiento de un cierto elemento vendrá dada, generalmente, por el tiempo que se espera que dicho elemento funcione de manera satisfactoria. Estadísticamente se puede obtener una expectativa de este tiempo hasta que se produzca un fallo, que se llama tiempo medio hasta un fallo (MTTF). Alternativamente en sistemas que son reparados continuamente después que se produzcan fallos y continúan funcionando la expectativa se llama tiempo medio entre fallos (MTBF). En cualquiera de los casos el «tiempo» puede ser tiempo real o tiempo de operación.

Dado que la densidad de fallos es $f(t)$, el tiempo T que se espera que transcurra hasta un fallo viene dado por:

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} \exp(-\lambda t) \Big|_{t=0}^{t=\infty} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{Ec. 7})$$

Vemos que el MTTF y la tasa de fallos son recíprocos.

Tiempo medio entre fallos (MTBF)

Se demuestra que para la distribución exponencial el MTBF es igual a la inversa de la tasa de fallos y por lo tanto igual al MTTF o sea:

$$\text{MTBF} = m = 1 / l = \text{MTTF} \quad (\text{Ec.8})$$

Al igual que l , el parámetro M describe completamente la confiabilidad de un dispositivo sujeto a fallos de tipo aleatorio, esto es, la confiabilidad exponencial. La función de confiabilidad, llamada también "probabilidad de supervivencia" se puede escribir por tanto de la forma:

$$R(t) = e^{(-t/m)} \quad (\text{Ec.9})$$

Donde: t : Tiempo de estudio o experimentación

Si llevamos a un gráfico esta función, con los valores de $R(t)$ en ordenadas y los valores correspondientes de t en abscisas, se obtiene la " curva de supervivencia ", representada en la figura 5.

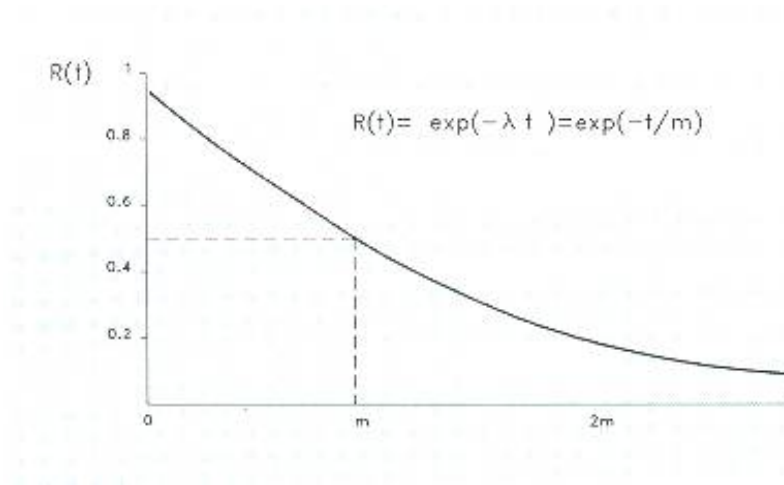


Figura 5. Curva de Supervivencia. [7]

La fórmula anterior proporciona la probabilidad de supervivencia del dispositivo para cualquier intervalo de tiempo comprendido dentro del ámbito de la vida útil del mismo, o sea desde el momento 0 al momento t . Se supone que el dispositivo ha superado las misiones precedentes y que no se encuentra al final de su vida útil durante el curso de la misión considerada.

- La primera hipótesis se representa gráficamente por la condición:
- La segunda está ya contenida en la condición fundamental $l = \text{Constante}$

Una interpretación bastante extendida del MTBF es su asimilación al tiempo asignado a la misión T_m . A partir del hecho de que se cumplirá:

$$R = e^{-1t} = e^{(-t / MTBF)} \quad (\text{Ec.10})$$

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n TBf_i}{n} = \frac{\text{Horasoperadas}}{N^\circ \text{defallas}} \quad (\text{Ec.11})$$

Al identificar el tiempo medio entre fallos con la duración de la misión se deduce que la confiabilidad de la misión es:

$$R(t) = \exp. (-1) = 0,368 \text{ (36,8 \%)}$$

El dispositivo tiene una probabilidad de sobrevivir del 36,8 %. En la práctica esto significa que, poniendo en funcionamiento 100 dispositivos del mismo tipo, cuando hayan pasado un número de horas $t = m = \text{MTBF}$ funcionarán aproximadamente 37, habiendo fallado los 63 restantes.

Para el caso de $t = m / 10$, la curva señala una confiabilidad $R = 0,905$ (90,5 %), y para el caso de $t = m / 100$, la fiabilidad es $R = 0,99$ (99 %).

Ley exponencial de fallas:

Uno de las leyes de falla más importante es aquella cuyo tiempo para fallar se describe mediante una distribución exponencial. Podemos describirla de varias maneras, pero probablemente la manera más sencilla es suponer que la tasa de falla es constante. Es decir, $Z(t) = \alpha$. Una consecuencia inmediata de esta suposición es, que la $f(t)$ asociada con el tiempo para fallar T , está dado por:

$$f(t) = \alpha e^{-\alpha t} \quad t > 0 \quad \text{(Ec.12)}$$

Para muchos tipos de componentes la hipótesis que conduce a la ley exponencial de fallas no es solo intuitivamente atractiva sino que en realidad esta sostenida por evidencia empírica.

Sin embargo dar aquí una palabra de preocupación. Hay muchas situaciones que implican estudios de fallas para los cuales las hipótesis básicas que conducen a una ley exponencial no serán satisfechas. A continuación se muestra de manera resumida las distintas propiedades de la distribución exponencial:

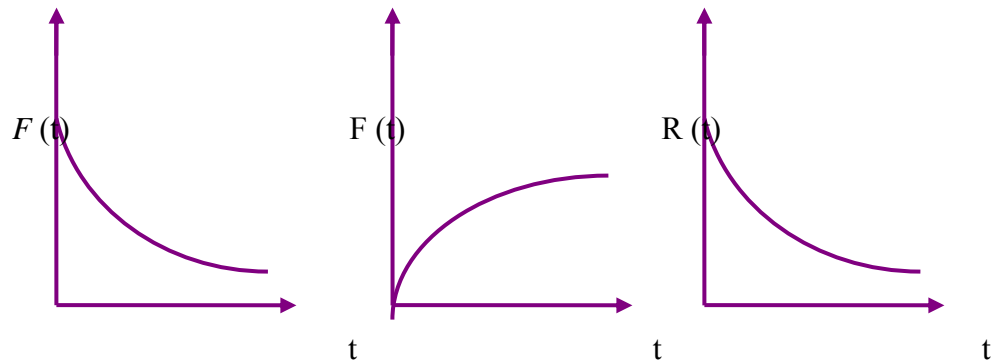


Figura 6. Propiedades de la Distribución Exponencial. [7]

2.2.6.1.2 Distribución de Weibull:

La prevención de pérdidas o seguridad industrial aplicada con rigor científico está basada, en gran parte, en la aplicación de los métodos probabilísticos a los problemas de fallos en los procesos industriales. Todo ello se ha llevado a cabo a través de una disciplina denominada ingeniería de confiabilidad, para la cual se disponen de las adecuadas técnicas de predicción, que han sido fundamentales para el aseguramiento de la calidad de productos y procesos.

La distribución de Weibull complementa a la distribución exponencial y a la normal, que son casos particulares de aquella, como veremos. A causa de su mayor complejidad sólo se usa cuando se sabe de antemano que una de ellas es la que mejor describe la distribución de fallos o cuando se han producido muchos fallos (al menos 10) y los tiempos correspondientes no se ajustan a una distribución más simple. En general es de gran aplicación en el campo de la mecánica.

Aunque existen dos tipos de soluciones analíticas de la distribución de Weibull (método de los momentos y método de máxima verosimilitud), ninguno de los dos se suele aplicar por su complejidad. En su lugar se utiliza la resolución gráfica a base de determinar un parámetro de origen (t_0). Un papel especial para gráficos, llamado papel de Weibull, hace esto posible. El procedimiento gráfico, aunque exige varios

pasos y una o dos iteraciones, es relativamente directo y requiere, a lo sumo, álgebra sencilla.

La distribución de Weibull nos permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente clave de seguridad que pretendemos controlar y que a través de nuestro registro de fallos observamos que éstos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso.

El método no determina cuáles son las variables que influyen en la tasa de fallos, tarea que quedará en manos del analista, pero al menos la distribución de Weibull facilitará la identificación de aquellos y su consideración, aparte de disponer de una herramienta de predicción de comportamientos. Esta metodología es útil para aquellas empresas que desarrollan programas de mantenimiento preventivo de sus instalaciones.

Expresión matemática:

$$R_{(t)} = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

β : Parámetro de forma.

η : Parámetro de escala.

γ : Parámetro de posición.

Características generales

Sabemos que la tasa de fallos se puede escribir, en función de la confiabilidad, de la siguiente forma:

$$\lambda(t) = \frac{d(R(t))}{R(t) dt} \quad (\text{Ec.14})$$

$$ó R (t) = \exp [- \int_0^t l (t) d t] \quad \text{(Ec.15)}$$

Siendo:

- $l (t)$: Tasa de fallos
- $R (t)$: Confiabilidad
- $F (t)$: Infiabilidad o Función acumulativa de fallos
- t : Tiempo

La expresión empírica más simple que puede representar una gran variedad de datos reales viene dado por:

$$\int \lambda(t) dt = \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \quad \text{(Ec.16)}$$

Por lo que la confiabilidad será:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right] \quad \text{(Ec.17)}$$

Siendo:

- t_0 : Parámetro inicial de localización
- h : Parámetro de escala o vida característica
- β : Parámetro de forma

Se ha podido demostrar que gran cantidad de representaciones de confiabilidades reales pueden ser obtenidas a través de esta ecuación, que como se mostrará, es de muy fácil aplicación.

La distribución de Weibull se representa normalmente por la función acumulativa de distribución de fallos $F(t)$:

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right] \quad \text{(Ec.18)}$$

Siendo la función densidad de probabilidad:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right] \quad \text{(Ec.19)}$$

Análisis de falla mediante el método estadístico de la distribución de weibull:

El objetivo es obtener la distribución de fallas durante cualquier periodo en la vida de un equipo o componente, cuando una tasa de falla decrece, se mantiene constante o crece con el tiempo.

Aplicaciones:

- Predecir fallas.
- Determinar en qué momento de la vida se encuentra un equipo.
- Estimar la confiabilidad del equipo.
- Determinar la frecuencia de inspección y ejecución del mantenimiento preventivo.

La tasa de fallos para esta distribución es:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \text{(Ec.20)}$$

Las ecuaciones (18), (19) y (20) 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) 0 vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.

h : es el parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo, del eje de los tiempos. Cuando $(t - t_0) = h$ la confiabilidad viene dada por: $R(t) = \exp. - (1)^{\beta} = 1/\exp. 1^{\beta} = 1 / 2,718 = 0,368$ (36,8%) Entonces la constante representa también el tiempo, medido a partir de $t_0 = 0$, según lo cual dado que $F(t) = 1 - 0,368 = 0,632$, el 63,2 % de la población se espera que falle, cualquiera que sea el valor de β ya que como hemos visto su valor no influye en los cálculos realizados. Por esta razón también se le llama usualmente vida característica.

β : es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta describiendo el grado de variación de la tasa de fallos.

Las variaciones de la densidad de probabilidad, tasa de fallos y función acumulativa de fallos en función del tiempo para los distintos valores de β , están representados gráficamente en la Figura 7

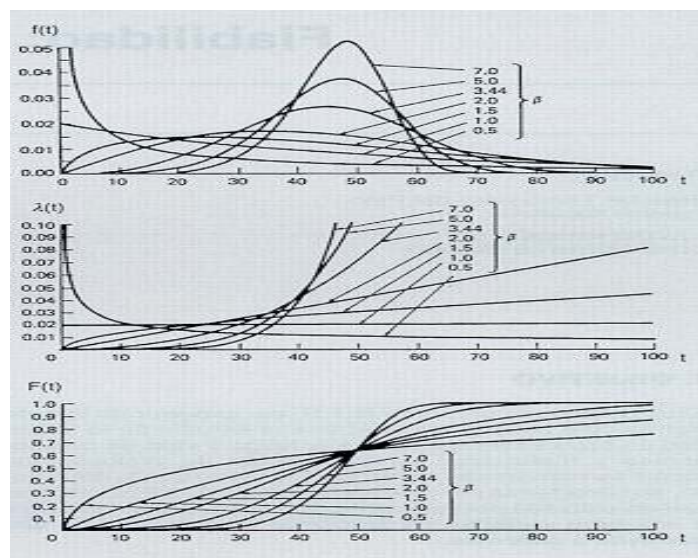


Figura 7. Variación de la densidad de probabilidad $f(t)$, tasa de fallos $\lambda(t)$ y la función acumulativa de fallos $F(t)$ en función del tiempo para distintos valores del parámetro de forma β . [8]

Análisis de Weibull

Uno de los problemas fundamentales de la distribución de Weibull es la evaluación de los parámetros (t_0, η, β) de esta distribución. Para ello se dispone de dos métodos: a través únicamente del cálculo mediante el método de los momentos o el de máxima verosimilitud, en el que intervienen ecuaciones diferenciales difíciles de resolver, por lo que se utilizan poco, y mediante la resolución gráfica, que utiliza un papel a escala funcional llamado papel de Weibull o gráfico de Allen Plait. Estos parámetros se pueden apreciar en la Figura 9. Lectura de los parámetros η y β en el papel de Weibull.

Resolución Gráfica

El papel de Weibull (**Ver figuras 8 y 9**) está graduado a escala funcional de la siguiente forma:

- En el eje de ordenadas se tiene: $\ln [1 / 1 - F(t)]$ (Doble logaritmo neperiano).
- En el eje de abscisas, tenemos: $\ln(t - t_0)$.
- Existen tres casos posibles en función del valor de t_0 .
- Caso de $t_0 = 0$

Demostramos que cualquier grupo de datos que sigan la distribución de Weibull se pueden representar por una línea recta en el papel de Weibull. Partimos de la hipótesis de que el origen es perfectamente conocido y que coincide con los datos experimentales. Desde el punto de vista matemático, partimos de la fórmula que nos relaciona la confiabilidad con la infijabilidad y teniendo en cuenta la expresión (21):

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp - (t/h)^\beta$$

$$1 / [1 - F(t)] = \exp (t/h)^\beta \quad \text{(Ec. 21)}$$

Tomando logaritmos neperianos por dos veces: $\ln \ln 1 / [1 - F(t)] = \beta \ln t - \beta \ln h$

Si a esta igualdad le aplicamos: $X = \ln t$ (variable función de t)

$$Y = \ln \ln 1 / [1 - F(t)] \text{ (función de } t)$$

$$B = -\beta \ln h \text{ (constante)}$$

$$A = \beta \text{ (coeficiente director)}$$

De donde tenemos: $Y = AX + B$ (ecuación de una recta)

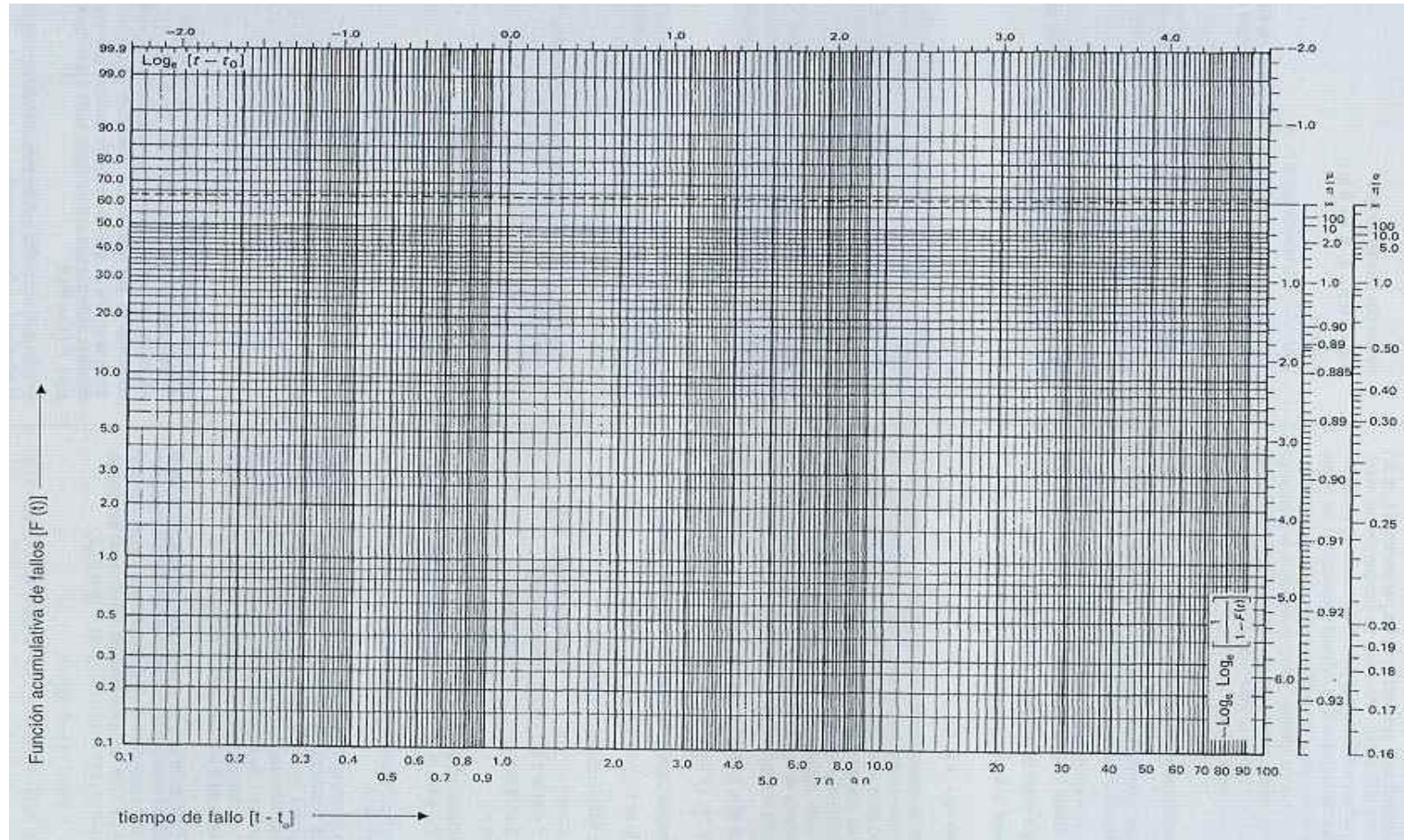


Figura 8. Muestra de Papel Weibull. [8]

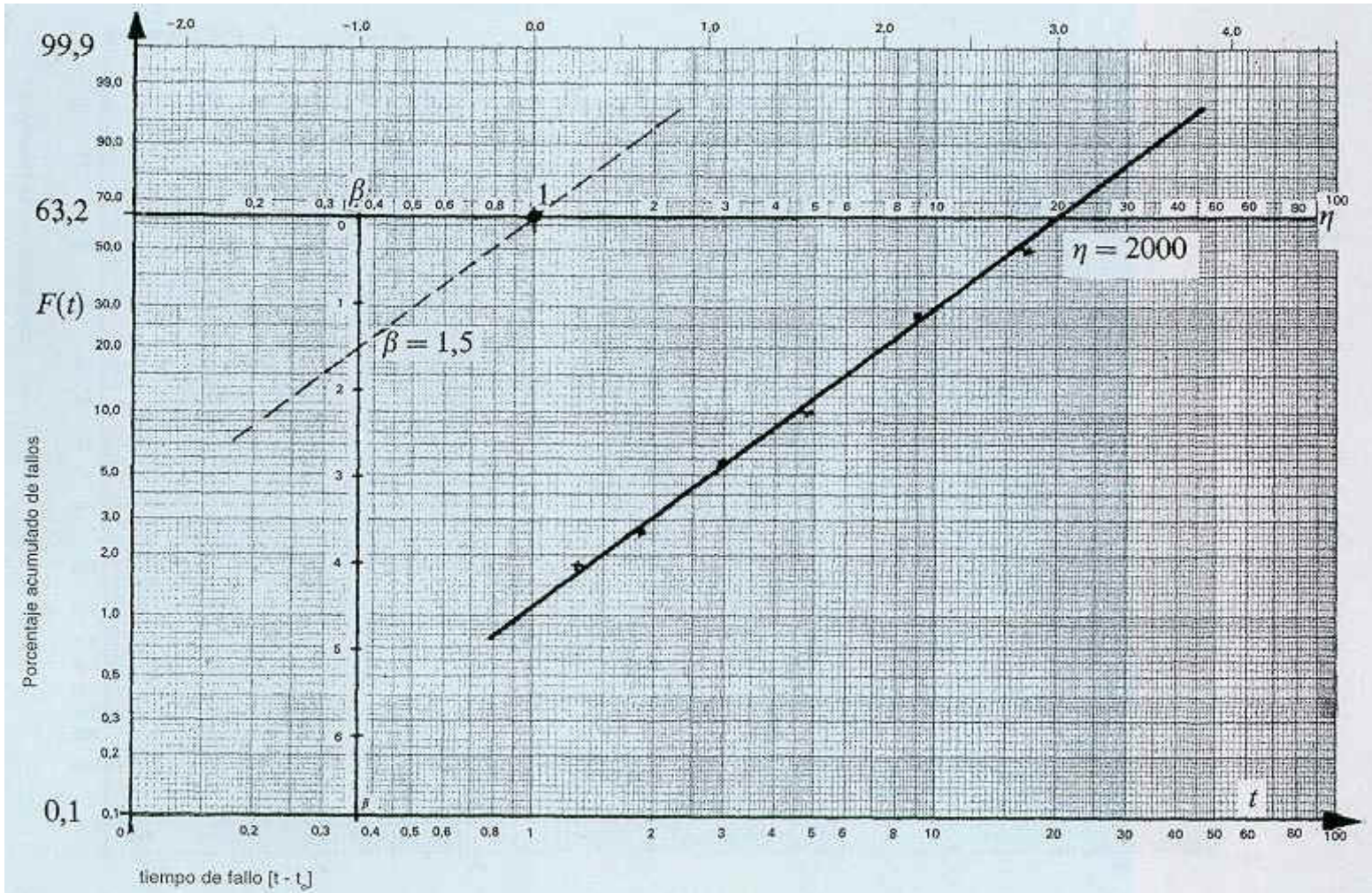


Figura 9. Lectura de los Parámetros H Y β en el Papel de Weibull. [8]

2.2.6.2 Definiciones Fundamentales del Modelo no Paramétrico:

Antes de entrar en tema de lo que son los métodos no paramétricos se deben tomar en cuenta ciertos conceptos que se presentan a continuación:

Modelo no paramétrico:

Es un análisis probabilístico que permite mediante la llamada técnica de sobrevivencia efectuar una estimación geométrica de las diferentes funciones que describen el comportamiento de un equipo.

Estimación geométrica:

Es una representación gráfica que permite estimar la probabilidad de sobrevivencia o de falla de los componentes que participan en un equipo, directamente de los datos históricos sin importar la cuantificación de parámetros.

Evento de control:

Es aquel que se utiliza para definir el período de análisis o estudio de un equipo, en el cual puede ser un lapso de tiempo, la ocurrencia de cierto número de fracasos o éxitos previamente establecidos en el diseño del experimento.

Vector aleatorio:

Es aquel cuyos componentes son variables aleatorias, es decir son eventos que ocurren al azar.

Estimador:

Es un estadístico que determina la función que describe el fenómeno deseado.

Éxito:

Ocurre cuando los componentes de un equipo logran cumplir la función para el cual fueron diseñados y asignados, durante el tiempo de estudio u observación (equipo en buen funcionamiento)

Falla o fracaso:

Es una ocurrencia no previsible, inherente al componente de un equipo que impide que este cumpla su función para el cual fue diseñado.

Datos Censurados:

Se refiere a los datos que el analista de mantenimiento considere dudoso o poco confiables, los cuales crean una situación de incertidumbre referente al comportamiento del equipo.

2.2.6.3 Modelo No Paramétricos:

Es aquella cuyo modelo estadístico no parte de supuestos acerca de la población, o estos son muy débiles y operan con datos ordinales y hasta nominales. Este es otro modelo que permite estimar la confiabilidad individual de equipos, cuando se dispone como record histórico datos operacionales, en vez de tiempos entre fallas.

La estadística no paramétrica es una rama de la estadística que estudia las pruebas y modelos estadísticos cuya distribución subyacente no se ajusta a los llamados criterios paramétricos. Su distribución no puede ser definida a priori, pues son los datos observados los que la determinan. La utilización de estos métodos se hace recomendable cuando no se puede asumir que los datos se ajusten a una distribución conocida, cuando el nivel de medida empleado no sea, como mínimo, de intervalo.

Las principales pruebas no paramétricas son las siguientes:

- Prueba χ^2 de Pearson
- Prueba binomial
- Prueba de Anderson-Darling
- Prueba de Cochran
- Prueba de Cohen kappa
- Prueba de Fisher
- Prueba de Friedman
- Prueba de Kendall
- Prueba de Kolmogórov-Smirnov
- Prueba de Kruskal-Wallis
- Prueba de Kuiper
- Prueba de Mann-Whitney o prueba de Wilcoxon
- Prueba de McNemar
- Prueba de la mediana
- Prueba de Siegel-Tukey
- Coeficiente de correlación de Spearman
- Tablas de contingencia
- Prueba de Wald-Wolfowitz

La mayoría de estos test estadísticos están programados en los paquetes estadísticos más frecuentes, quedando para el investigador, simplemente, la tarea de decidir por cuál de todos ellos guiarse o qué hacer en caso de que dos test nos den resultados opuestos. Hay que decir que, para poder aplicar cada uno existen diversas hipótesis nulas que deben cumplir nuestros datos para que los resultados de aplicar el test sean confiables. Esto es, no se puede aplicar todos los test y quedarse con el que mejor convenga para la investigación sin verificar si se cumplen las hipótesis necesarias. La violación de las hipótesis necesarias para una prueba invalida cualquier

resultado posterior y son una de las causas más frecuentes de que un estudio sea estadísticamente incorrecto. Esto ocurre sobre todo cuando el investigador desconoce la naturaleza interna de los test y se limita a aplicarlos sistemáticamente

2.2.6.3.1 La Prueba χ^2 de Pearson

Es considerada como una prueba no paramétrica que mide la discrepancia entre una distribución observada y otra teórica (bondad de ajuste), indicando en qué medida las diferencias existentes entre ambas, de haberlas, se deben al azar en el contraste de hipótesis. También se utiliza para probar la independencia de dos variables entre sí, mediante la presentación de los datos en tablas de contingencia.

La fórmula que da el estadístico es la siguiente:

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(\text{observada}_i - \text{teórica}_i)^2}{\text{teórica}_i} \quad (\text{Ec.22})$$

Cuanto mayor sea el valor de χ^2 , menos verosímil es que la hipótesis sea correcta. De la misma forma, cuanto más se aproxima a cero el valor de Chi-cuadrado, más ajustadas están ambas distribuciones.

Los grados de libertad (gl) vienen dados por:

gl= (r-1) (k-1). Donde r es el número de filas y k el de columnas.

2.2.6.3.2 La Prueba de Anderson-Darling

Es una prueba no paramétrica sobre si los datos de una muestra provienen de una distribución específica. La fórmula para el estadístico A determina si los datos $\{Y_1 < \dots < Y_N\}$ (observar que los datos se deben ordenar) vienen de una distribución con función acumulativa F

$$A^2 = -N - S \quad (\text{Ec.23})$$

Donde:

$$S = \sum_{k=1}^N \frac{2k-1}{N} [\ln F(Y_k) + \ln (1 - F(Y_{N+1-k}))]$$

(Ec. 24)

El estadístico de la prueba se puede entonces comparar contra las distribuciones de prueba (dependiendo que F se utiliza) para determinar el P-valor.

Cuanto mayor sea el valor de χ^2 , menos verosímil es que la hipótesis sea correcta. De la misma forma, cuanto más se aproxima a cero el valor de Chi-cuadrado, más ajustadas están ambas distribuciones.

Los grados de libertad (gl) vienen dados por:

gl= (r-1) (k-1). Donde r es el número de filas y k el de columnas.

2.2.6.3.3 La Prueba de Friedman

Es una prueba no paramétrica desarrollado por el economista Milton Friedman. Equivalente a la prueba ANOVA para dos factores en la versión no paramétrica, el método consiste en ordenar los datos por filas o bloques, reemplazándolos por su respectivo orden. Al ordenarlos, debemos considerar la existencia de datos idénticos.

Sea $\{x_{ij}\}_{m \times n}$ una tabla de datos, donde m son las filas (bloques) y n las columnas (tratamientos). Una vez calculado el orden de cada dato.

En su bloque, reemplazamos al tabla original con otra $\{r_{ij}\}_{m \times n}$ donde el valor r_{ij} es el orden de x_{ij} en cada bloque i.

Cálculo de las varianzas intra e inter grupo:

$$SS_t = n \sum_{j=1}^m (\bar{r}_j - \bar{r})^2 \quad (\text{Ec. 25})$$

$$SS_e = \frac{1}{m(n-1)} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (r_{ij} - \bar{r})^2 \quad (\text{Ec. 26})$$

$$\bar{r}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_{ij} \quad (\text{Ec. 27})$$

$$\bar{r} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij} \quad (\text{Ec. 28})$$

$$Q = \frac{SS_t}{SS_e} \quad (\text{Ec. 29})$$

$$\mathbf{P}(\chi_{n-1}^2 \geq Q) \quad (\text{Ec. 30})$$

2.2.6.3.4 La Prueba de Kruskal-Wallis (De William Kruskal Y W. Allen Wallis)

Es un método no paramétrico para probar si un grupo de datos proviene de la misma población. Intuitivamente, es idéntico al ANOVA con los datos reemplazados por categorías. Es una extensión de la prueba de la U de Mann-Whitney para 3 o más grupos.

Ya que es una prueba no paramétrica, la prueba de Kruskal-Wallis no asume normalidad en los datos, en oposición al tradicional ANOVA. Si asume bajo la hipótesis nula que los datos vienen de la misma distribución. Una forma común en que se viola este supuesto es con datos heterocedásticos.

Ordenar todos los datos de la muestra de menor a mayor, y asignar al menor un rango de 1, al segundo un 2, y así hasta el n-ésimo. Si existen datos que se repiten, se asigna el rango promedio a cada uno de ellos (si existen cuatro datos idénticos que ocupan los rangos 11, 12, 13 y 14, se les asigna un rango de 12,5 a los cuatro).

El estadístico está dado por:

$$K = (N - 1) \frac{\sum_{i=1}^g n_i (\bar{r}_{i\cdot} - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (r_{ij} - \bar{r})^2} \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde:

n_g es el número de observaciones en el grupo g

r_{ij} es el rango (entre todas las observaciones) de la observación j en el grupo i

N es el número total de observaciones entre todos los grupos

$$\bar{r}_{i\cdot} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} r_{ij}}{n_i} \quad (\text{Ec. 32})$$

$$\bar{r} = (N + 1)/2 \quad (\text{Ec. 33})$$

\bar{r} : Es el promedio de r_{ij} .

1. Note que el denominador de la expresión para K es

$$\frac{(N - 1)N(N + 1)}{12} \quad (\text{Ec. 34})$$

$$K = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^g n_i (\bar{r}_i - \bar{r})^2 \quad (\text{Ec.35})$$

$$1 - \frac{\sum_{i=1}^g (\bar{v}_i - v_i)}{N^3 - N} \quad (\text{Ec. 36})$$

Se puede realizar una corrección para los valores repetidos dividiendo K por donde G es el número de grupos de diferentes rangos repetidos, y t_i es el número de observaciones repetidas dentro del grupo i que tiene observaciones repetidas para un determinado valor. Esta corrección hace cambiar a K muy poco al menos que existan un gran número de observaciones repetidas.

2. Finalmente, el valor p es aproximado por.

$$\Pr(\chi_{g-1}^2 \geq K) \quad (\text{Ec. 37})$$

Si algún n_i es pequeño (< 5) la distribución de K puede ser distinta del Chi-cuadrado.

2.2.6.3.5 La Prueba de la Mediana

Es una prueba no paramétrica que podemos considerar un caso especial de la prueba de Chi-cuadrado, pues se basa en esta última. Su objetivo es comparar las medianas de dos muestras y determinar si pertenecen a la misma población o no.

Para ello, se calcula la mediana de todos los datos conjuntamente. Después, se divide cada muestra en dos subgrupos: uno para aquellos datos que se sitúen por encima de la mediana y otro para los que se sitúen por debajo. La prueba de Chi-cuadrado determinará si las frecuencias observadas en cada grupo difieren de las esperadas con respecto a una distribución de frecuencias que combine ambas muestras.

Esta prueba está especialmente indicada cuando los datos sean extremos o estén sesgados.

2.2.6.3.6 El Coeficiente de Correlación de Spearman, P:

Es una medida de la correlación (la asociación o interdependencia) entre dos variables aleatorias continuas. Para calcular ρ , los datos son ordenados y reemplazados por su respectivo orden.

El estadístico ρ viene dado por la expresión:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)} \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde: D es la diferencia entre los correspondientes valores de $x - y$. N es el número de parejas.

Se tiene que considerar la existencia de datos idénticos a la hora de ordenarlos, aunque si éstos son pocos, se puede ignorar tal circunstancia

Para muestras mayores de 20 observaciones, podemos utilizar la siguiente aproximación a la distribución t de Student

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{(1 - \rho^2)/(n - 2)}} \quad (\text{Ec. 39})$$

La interpretación de coeficiente de Spearman es igual que la del coeficiente de correlación de Pearson. Oscila entre -1 y +1, indicándonos asociaciones negativas o positivas respectivamente, 0 cero, significa no correlación pero no independencia. La prueba de Kendall es un coeficiente de correlación por rangos, inversiones entre dos ordenaciones de una distribución normal bi-variente.

2.2.6.3.7 La Prueba de los Signos de Wilcoxon:

Es una prueba no paramétrica para comparar la mediana de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias entre ellas. Se utiliza como alternativa a la prueba t de Student cuando no se puede suponer la normalidad de dichas muestras.

Supóngase que se dispone de n pares de observaciones, denotadas (x_i, y_i) . El objetivo del test es comprobar si puede dictaminarse que los valores x_i e y_i son o no iguales.

1. Si $z_i = y_i - x_i$, entonces los valores z_i son independientes.
2. Los valores z_i tienen una misma distribución continua y simétrica respecto a una mediana común θ .

La hipótesis nula es $H_0: \theta = 0$. Retrotrayendo dicha hipótesis a los valores x_i, y_i originales, ésta vendría a decir que son en cierto sentido del mismo tamaño.

Para verificar la hipótesis, en primer lugar, se ordenan los valores absolutos $|z_1|, \dots, |z_n|$ y se les asigna su rango R_i . Entonces, el estadístico de la prueba de los signos de Wilcoxon, W^+ , es:

$$W^+ = \sum_{i>0} R_{ij} \quad (\text{Ec.40})$$

Es decir, la suma de los rangos R_i correspondientes a los valores positivos de z_i .

La distribución del estadístico W^+ puede consultarse en tablas para determinar si se acepta o no la hipótesis nula. En ocasiones, esta prueba se usa para comparar las diferencias entre dos muestras de datos tomados antes y después del tratamiento, cuyo valor central se espera que sea cero. Las diferencias iguales a cero son eliminadas y el valor absoluto de las desviaciones con respecto al valor central son ordenadas de menor a mayor. A los datos idénticos se les asigna el lugar medio en la serie. La suma de los rangos se hace por separado para los signos positivos y los negativos. S representa la menor de esas dos sumas. Comparamos S con el valor

proporcionado por las tablas estadísticas al efecto para determinar si rechazamos o no la hipótesis nula, según el nivel de significación elegido.

2.2.7 ¿Qué es AMEF?

El Análisis de modos y efectos de fallas potenciales, AMEF, es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.

Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son:

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

Aunque el método del AMEF generalmente ha sido utilizado por las industrias automotrices, éste es aplicable para la detección y bloqueo de las causas de fallas potenciales en productos y procesos de cualquier clase de empresa, ya sea que estos se encuentren en operación o en fase de proyecto; así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios.

2.2.7.1 Requerimientos del AMEF

Para hacer un AMEF se requiere lo siguiente:

- Un equipo de personas con el compromiso de mejorar la capacidad de diseño para satisfacer las necesidades del cliente.
- Diagramas esquemáticos y de bloque de cada nivel del sistema, desde subensambles hasta el sistema completo.
- Especificaciones de los componentes, lista de piezas y datos del diseño.
- Especificaciones funcionales de módulos, subensambles, etc.
- Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar.
- Formas de AMEF (en papel o electrónicas) y una lista de consideraciones especiales que se apliquen al producto.

2.2.7.2 Beneficios del AMEF

La eliminación de los modos de fallas potenciales tiene beneficios tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo, representa ahorros de los costos de reparaciones, las pruebas repetitivas y el tiempo de paro. El beneficio a largo plazo es mucho más difícil medir puesto que se relaciona con la satisfacción del cliente con el producto y con su percepción de la calidad; esta percepción afecta las futuras compras de los productos y es decisiva para crear una buena imagen de los mismos.

Por otro lado, el AMEF apoya y refuerza el proceso de diseño ya que:

- Ayuda en la selección de alternativas durante el diseño
- Incrementa la probabilidad de que los modos de fallas potenciales y sus efectos sobre la operación del sistema sean considerados durante el diseño
- Proporciona una información adicional para ayudar en la planeación de programas de pruebas concienzudos y eficientes
- Desarrolla una lista de modos de fallas potenciales, clasificados conforme a su probable efecto sobre el cliente

- Proporciona un formato documentado abierto para recomendar acciones que reduzcan el riesgo para hacer el seguimiento de ellas
- Detecta fallas en donde son necesarias características de auto corrección o de leve protección
- Identifica los modos de fallas conocidos y potenciales que de otra manera podrían pasar desapercibidos
- Detecta fallas primarias, pero a menudo mínimas, que pueden causar ciertas fallas secundarias
- Proporciona un punto de visto fresco en la comprensión de las funciones de un sistema

2.2.7.3 Desarrollo del AMEF

Los AMEF son desarrollados en tres distintas fases donde las acciones pueden ser determinadas. Es imperativo hacer un trabajo previo al AMEF para asegurar que las medidas a tomar y la historia pasada están incluidos en el análisis.

- **Paso 1** determinar todos los modos de falla con base en los requerimientos funcionales y sus efectos. Si la severidad de los efectos es de 9 o 10 (impactando aspectos de seguridad) las acciones deben ser consideradas para cambiar el diseño o el proceso eliminando el Modo de Falla si es posible o protegiendo al cliente de su efecto.
- **Paso 2** describir las causas y Ocurrencias para cada Modo de Falla. Esto es el desarrollo detallado en la sección del AMEF de proceso. Revisando el nivel de la probabilidad de ocurrencia para las severidades más altas y trabajando hacia abajo, las acciones son determinadas si la ocurrencia es alta (> 4 para lo que no es seguridad y nivel de ocurrencia < 1 cuando la severidad es 9 o 10)
- **Paso 3** considerar pruebas, verificación del diseño y métodos de inspección. Cada combinación de los pasos 1 y 2 los cuales sean considerados como riesgo requieren un número de detección. El número de detección representa la

habilidad de las pruebas e inspecciones planeadas para quitar defectos o evitar los modos de falla.

2.2.7.4 Formato y Elementos del AMEF

Para facilitar la documentación del análisis de fallas potenciales y sus consecuencias, se tomó como base un formato para la realización del AMEF.

Es muy importante que, aun cuando se realicen modificaciones, se mantengan los siguientes elementos:

1. Página/ De: Anotar el número consecutivo correspondiente a la página en la que se trabaja y en De: escribir el número total de hojas que completan el AMEF.

2. Número de proyecto: Anotar el número de proyecto al que corresponde este análisis, de acuerdo a los criterios que se utilizan en la empresa.

3. Proceso: Registrar el nombre del proceso u operación sobre el cual se está haciendo el análisis.

4. Producto afectado: Registre el nombre y /o modelos del(os) producto(s) que se producen en este proceso.

5. Responsabilidad: Escribir el nombre de la persona que tiene la responsabilidad primaria del proceso, es decir, la gerencia que tiene la responsabilidad principal de la máquina, equipo o proceso.

6. Líder del proyecto: Anotar el nombre del responsable técnico del proyecto.

7. Preparado por: Anotar el nombre de las personas que realizó en este AMEF.

8. Fecha clave: Escribir la fecha obligatoria en que se debe terminar este AMEF, ya sea por alguna razón especial como compromisos de liberación de producción o por meta en tiempo que el equipo decida imponerse.

9. Fecha AMEF original y última revisión: Si ya se ha hecho antes un AMEF sobre este proceso, anotar la fecha del primer AMEF y la fecha de la última revisión formal.

10. Función del proceso (identificación y propósito): Dar una descripción breve de la función del proceso analizado, anotando las principales etapas del proceso y su función correspondiente.

11. Modo potencial de falla: Es la manera en que el proceso (sistema, componente) podría potencialmente fallar en el cumplimiento de requerimientos. En esta etapa se deben anotar todos los modos potenciales de falla, sin tomar en cuenta la probabilidad de su ocurrencia. El analista debe ser capaz de contestar las siguientes preguntas:

- ¿Cómo el proceso o parte puede fallar en el cumplimiento de especificaciones?
- Independientemente de las especificaciones de ingeniería, ¿qué consideraría un cliente como objetable?

Una revisión de procesos similares, reportes de problemas de calidad y de las quejas de clientes, así como AMEFS previos sobre componentes similares es un buen punto de partida. Los modos o formas de falla típicos son:

- Abertura inadecuada
- Corto circuito
- Falla del material
- Herramienta desgastada
- Operación faltante
- Parte dañada
- Sistema de control inadecuado
- Velocidad incorrecta
- Daño por manejo
- Herramental incorrecto
- Lubricación inadecuada
- Medición inadecuada
- Falta de lubricación
- Sobrecalentamiento
- Fuera de tolerancia

12. Efecto(s) de la falla potencial: se definen como los efectos del modo de falla, este efecto negativo puede darse en el proceso mismo, sobre una operación posterior o el cliente final. De esta forma, suponiendo que la falla ha ocurrido, en esta etapa se deben describir todos los efectos potenciales de los modos de falla señalados en el paso previo. Una pregunta clave para esta actividad es ¿qué ocasionará el modo de falla identificado? La descripción debe ser tan específica como sea posible. Las descripciones típicas de los efectos potenciales de falla, desde la óptica del consumidor final del producto, son:

- El producto no funciona
- Eficiencia final reducida
- Áspero
- Calentamiento excesivo
- Ruido
- Olor desagradable
- Inestabilidad
- Mala apariencia

Mientras que desde la óptica de una operación posterior, algunos efectos potenciales típicos son:

- No abrocha
- Pone en peligro a operadores
- No se puede taladrar
- No ensambla
- No se puede montar
- No se puede conectar

13. Severidad (S): estimar la severidad de los efectos listados en la columna previa. La severidad de los efectos potenciales de falla se evalúa en una escala del 1 al 10 y representa la gravedad de la falla para el cliente o para una operación posterior, una vez que esta falla ha ocurrido. La severidad solo se refiere o se aplica al efecto.

Se puede consultar a ingeniería del producto para grados de severidad recomendados o estimar el grado de severidad aplicando los criterios de la tabla. Los efectos pueden manifestarse en el cliente final o en el proceso de manufactura. Siempre se debe considerar primero al cliente final. Si el efecto ocurre en ambos, use

la severidad más alta. El equipo de trabajo debe estar de acuerdo en los criterios de evaluación y en que el sistema de calificación sea consistente.

14. Control o artículos críticos: utilizar esta columna para identificar o clasificar las características críticas del proceso que requieren controles adicionales; por tanto se le debe notificar al responsable del diseño de proceso.

15. Causas /mecanismo de la falla potencial (mecanismo de falla): hacer una lista de todas las posibles causas para cada modo potencial de falla. Entendiendo como causa de falla a la manera como podría ocurrir la falla. Cada causa ocupa un renglón. Asegurarse de que la lista sea lo más completa posible, para ello puede aplicarse el diagrama de Ishikawa, diagrama de relación o diagrama de árbol. Las causas típicas de falla son:

- Abertura inadecuada
- Capacidad excedida
- Operación faltante
- Daño por manejo
- Sistema de control inadecuado
- Falla de material
- Herramienta desgastada
- Lubricación inadecuada
- Herramienta dañada
- Parte dañada
- Preparación inadecuada
- Sobrecalentamiento
- Velocidad incorrecta
- Medición inexacta

- Falta lubricación
- Herramental incorrecto

16. Ocurrencia (O): estimar la frecuencia con la que se espera ocurra la falla debido a cada una de las causas potenciales listadas antes (¿qué tan frecuente se activa tal mecanismo de falla?). La posibilidad de que ocurra cada causa potencial (que se active el mecanismo de falla), se estima en una escala del 1 al 10.

Si hay registros estadísticos adecuados, éstos deben utilizarse para asignar un número a la frecuencia de ocurrencia de la falla. Es importante ser consiente y utilizar los criterios de la tabla para asignar tal número. Si no hay datos históricos puede hacerse una evaluación subjetiva utilizando las descripciones de la primera columna de la tabla.

17. Controles actuales del proceso para detección: hacer una lista de los controles actuales del proceso que están dirigidos a:

- a) Prevenir que ocurra la causa-mecanismo de falla o controles que reduzcan la tasa de falla.
- b) Detectar la ocurrencia de la causa-mecanismo de la falla, de tal forma que permite generar acciones correctivas.
- c) Detectar la ocurrencia del modo de falla resultante.

Obviamente, los controles del tipo a) son preferibles, enseguida los del tipo b), y los menos preferidos son controles del tipo c).

18. Detección (D): con una escala del 1 al 10, estimar la probabilidad de que los controles del tipo b) y c), detecten la falla (su efecto), una vez que ha ocurrido, antes de que el producto salga hacia procesos posteriores o antes de que salga del área de

manufactura o ensamble. Se debe suponer que la causa de falla ha sucedido y entonces evaluar la eficacia de los controles actuales para prevenir el embarque del defecto. Es decir, es una estimación de la probabilidad de detectar, suponiendo que ha ocurrido la falla, y no es una estimación sobre la probabilidad de que la falla ocurra. Las verificaciones aisladas hechas por el departamento de calidad son inadecuadas para detectar un defecto y, por tanto, no resultarán en un cambio notable del grado de detección. Sin embargo, el muestreo hecho sobre una base estadística es un control de detección válido. En la tabla se muestran los criterios recomendados para estimar la probabilidad de detección.

19. Número de prioridad del riesgo (NPR): calcular el NPR para efecto-causas-controles, que es el resultado de multiplicar la puntuación dada a la severidad (S-13) del efecto de falla, por las probabilidades de ocurrencia (O-16) para cada causa de falla, y por las posibilidades de que los mecanismos de control detecten (D-18) cada cusa de falla. Es decir, para cada efecto se tienen varias causas y para cada causa un grupo de controles.

$$\text{NPR} = (\text{S}) \times (\text{O}) \times (\text{D}) \quad (\text{Ec. 41})$$

El NPR cae en un rango del 1 a 1 000 y proporciona un indicador relativo de todas las causas de falla. A los más altos números de NPR se les deberá dar prioridad para acciones correctivas, Y sea para prevenir la causa o por lo menos para emplear mejores controles de detección. Especial atención debe darse cuando se tengan altos NPR (mayores a 80) con severidades altas.

20. Acciones recomendadas: en esta columna se hace una breve descripción de las acciones correctivas recomendadas para los NPR más altos. Por ejemplo cuando hay poca comprensión de las causas de la falla, entonces la recomendación podría ser

ejecutar un proyecto de mejora basado en los “ocho pasos en la solución de un problema (el ciclo de la calidad).

Un AMEF de proceso bien desarrollado y pensado será de un valor limitado si no se completan acciones correctivas y efectivas. Es responsabilidad de todas las áreas afectadas establecer programas de seguimiento efectivo para implantar todas las recomendaciones. Las acciones correctivas que atiendan los NPR más altos son generalmente para el diseño o el proceso. Basadas en el análisis, las acciones pueden ser usadas para lo siguiente:

- Generar soluciones que eviten, prevengan o por lo menos reduzcan la probabilidad de ocurrencia de la falla, debido a la causa asociada. Estas soluciones deben ser a nivel proceso o diseño de producto.
- En algunas ocasiones es posible reducir la severidad del modo de falla del producto modificando su diseño.
- Para incrementar la probabilidad de detección se requieren revisiones al proceso. Generalmente, un aumento de los controles de detección es costoso e ineficaz para mejorar la calidad. Un incremento en la frecuencia de inspección en el departamento de calidad no es una acción correctiva positiva y debe utilizarse sólo como último recurso o medida temporal.
- En algunos casos puede recomendarse un cambio en el diseño de una parte específica para ayudar a la detección. Pueden implementarse cambios en los sistemas de control actuales para incrementar la probabilidad de detección; sin embargo, debe ponerse énfasis en la prevención de defectos (es decir, reduciendo la ocurrencia), en vez de su detección; por ejemplo, teniendo un control estadístico de proceso en lugar de técnicas de muestreo al azar.

21. Responsabilidad y fecha prometida para acciones recomendadas: especificar el área y personas responsables de la ejecución de las acciones recomendadas, con la fecha prometida para concluir tales acciones.

- Acciones tomadas: a manera de seguimiento y una vez que se ha implementado la acción, anotar el resultado de la misma.
- NPR resultante: una vez que la acción correctiva ha sido llevada a cabo, se deberá actualizar la información para la puntuación de severidad, ocurrencia y detección para la causa de falla estudiada. Todos los NPR resultantes deberán ser revisados y si es necesario considerar nuevas acciones, para ello se repiten los pasos del 20 en adelante.

Seguimiento: los responsables del proceso tienen la obligación de asegurar que las acciones recomendadas son efectivamente atendidas e implementadas. El AMEF es un documento vivo que debe reflejar siempre el estado último de las fallas de proceso, con las acciones que se han emprendido para atenderlas. Por ello es importante que los AMEF sean parte de la documentación básica del proceso y que para las principales fallas se tenga un historial y una versión actualizada del AMEF. En particular en las columnas de resultados de acciones se debe tener una valoración del estado último de la importancia de las fallas. Por lo que cada vez que haya un cambio importante en la ocurrencia de una falla, en su severidad o en los mecanismos de control, es necesario recalcular los NPR.

2.2.8 Norma COVENIN:

La norma COVENIN 3049-93 para mantenimiento 01-12-93 Fue consultada y los artículos correspondientes al Método Centrado en la Confiabilidad son:

- **ART 3.2.15 PARÁMETROS BÁSICOS PARA EL ANÁLISIS DE FALLAS**

- **ART 3.2.15.1 ANÁLISIS DE FALLA**

Es el estudio sistemático y logístico de las fallas de un SP, para determinar la probabilidad, causas y consecuencias de las mismas.

- **ART 3.2.15.4 FRECUENCIA DE FALLAS**

Es la probabilidad casi inmediata de falla de un SP, al llegar a t horas de operación

- **ART 3.2.15.6 PROBABILIDAD DE FALLAS**

Es la probabilidad de que un SP falle al tiempo t.

- **ART 3.2.15.7 RELACIONES DE LOS PARÁMETROS**

- **ART 3.2.15.7.1 LA RATA DE FALLA**

Aplicación de fórmulas **$R(t): Pf(t) / t \times Ps(t)$** **(Ec.41)**

- **ART 3.2.15.7.2 LA PROBABILIDAD DE FALLA Y LA PROBABILIDAD DE SUPERVIVENCIA SON COMPLEMENTARIAS:**

$Ps(t) + Pf(t) = 1$ **(Es igual a la Ec.4)**

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 Descripción del Sistema Operativo de la Estación de Bombeo de La Caraqueña:

La estación de bombeo en estudio se encuentra ubicada en la calle La Línea del Sector La Caraqueña presenta un área de 975.m² cuenta con un galpón de 142.5 m² y una caseta de 28 m². En dicho galpón se encuentran distribuidos 6 bombas, 2 tableros, 10 válvulas, 2 bancos de transformadores, las tuberías, accesorios, entre otros equipos de la estación que se pueden ver con más detalle en la Tabla 3.2 Inventario de Equipo de la Estación de Bombeo de “La Caraqueña”

El sistema operativo está compuesto por dos subsistemas que surten a los sectores de Las Charas y Montecristo cada una está constituidos con tres bombas centrifugas horizontales:

- Subsistema del sector Montecristo está compuesto por una tubería de succión de Ø 12’’ que alimenta tres bombas, las cuales están funcionando permanentemente dos bombas, dejando la tercera para reserva, o para dejar descansar a una de las bombas que están en funcionamiento cada bomba alimenta a una tubería de Ø 8’’ que surte a la tubería de impulsión de Ø 21’’ ramificándose en forma de “Y” fuera de la estación.
- Subsistema del sector Las Charas está compuesto por una tubería de succión de Ø 16’’ que alimentan a tres bombas que están en funcionamiento las 24 horas del día y descargan en una tubería de Ø 10’’ y sigue a una reducción de Ø 8’’, para luego descargar a la tubería de distribución de la red de Ø 21’’.

El sistema esta automatizado por medio de tableros electrónicos de 460v y trabaja con una corriente plena de 293amp, los cuales controlan el funcionamiento de

las bombas, por medio de colores (rojo, verde y amarillo) que indican si esta prendida, apagada y bajo voltaje, además dichos tableros registra el voltaje, amperaje, temperatura, capacidad que tiene cada motor y caudal, pero cabe destacar que en esta estación la medición del caudal (Q) no se realiza debido a que el medidor automático esta inoperativo, por lo tanto para comprobar cómo están trabajando los subsistemas se mide la presión por medio de manómetros, los cuales en condiciones normales presentan lecturas en el subsistema de Charas: 100 mca, y Montecristo: 40 mca. La planta se dota de electricidad por medio de dos bancos de transformadores de 1000Kva c/u, de las cuales actualmente solo opera uno. En la siguiente figura 10 se muestra la ubicación de la estación de bombeo mediante una imagen satelital.

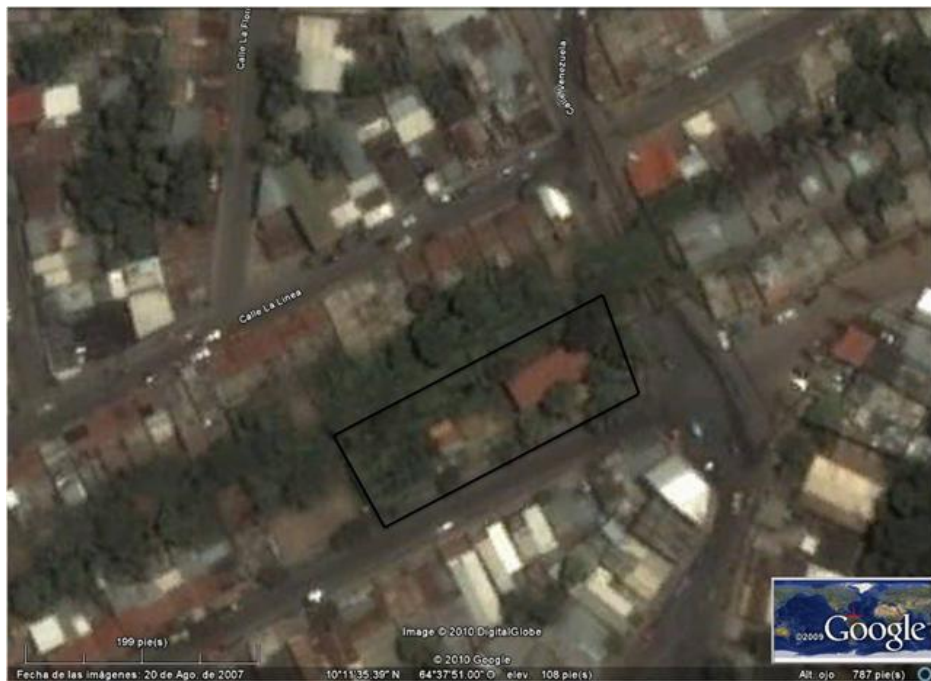


Figura 10. Ubicación satelital de la estación de bombeo La Caraqueña
Fuente: Google Earth

3.2 Plan de Mantenimiento Basado en RCM

Se desea dirigir el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a toda la Estación de Bombeo de La Caraqueña, identificando los posibles fallos, clasificando

estos fallos según su criticidad y adoptando medidas preventivas que eviten o minimicen los efectos y cuyos costos sean proporcionales a su importancia y al costo de su resolución.

Una buena idea es dividir la Estación de Bombeo La Caraqueña en los sistemas principales que la componen y estudiar cada uno de ellos con el nivel de profundidad adecuado.

Para que la estación de bombeo de La Caraqueña pueda tener un funcionamiento confiable es necesario llevar a cabo una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen dicha estación y estas son:

3.2.1 Fase 0: Listado y Codificación de Equipos

El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de fallos según la metodología del RCM es elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella. Realizar un inventario de los activos de la Estación de Bombeo La Caraqueña en forma de estructura arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes.

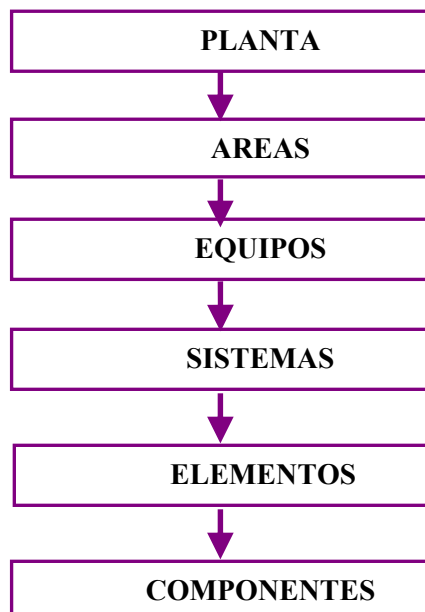


Figura 11. Esquema de los niveles de una estación de bombeo.

Fuente: Inspiración propia

- **PLANTA:** Centro de trabajo, Estación de Bombeo de La Caraqueña.
- **AREA:** Zona de la Estación de Bombeo que tiene una característica común. Ejemplo: Tableros: 2.80*1.50, Bombas: 4m.*19.
- **EQUIPO:** Cada una de las unidades productivas que componen el área, que constituyen un conjunto único. Ejemplo: 2 tableros, y 6 bombas.
- **SISTEMA:** Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo.
- **ELEMENTO:** Cada una de las partes que integran un sistema. Ejemplo: el motor de la bomba.
- **COMPONENTE:** Partes en que pueden subdividirse un elemento. Ejemplo: Rodamiento de un motor, Cojinetes, Prensaestopas.

3.2.2 Fase 1: Listado de Funciones y Especificaciones.

Completar esta fase significa detallar todas las funciones que tiene el sistema que se está estudiando, cuantificando cuando sea posible como se lleva a cabo esa función. Ejemplo: si analizamos una caldera, su función es producir vapor en unas condiciones de presión, temperatura y composición determinadas y con un caudal dentro de un rango concreto, si no se alcanzan los valores correctos, entenderemos que el sistema no está cumpliendo su función.

Para que el sistema cumpla su función, cada uno de los subsistemas en que se dividen deben cumplir la suya. Para ello es necesario cumplir tres funciones que son:

- Las funciones del sistema en su conjunto. (Surtidora de agua a los sectores de los sectores las charas y montecristo)
- Las funciones de cada uno de los subsistemas que lo componen. (Sistema de bombeo)

- Las funciones de cada uno de los equipos significativos de cada subsistema. (Succionar el agua de la tubería de entrada a la de salida y de ahí a la red de distribución)

3.2.3 Fase 2: Determinación de Fallos Funcionales y Técnicos

Un fallo es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones, es por ello que si realizamos un correcto listado de funciones es fácil determinar los fallos, tomando en cuenta lo siguiente:

- Histórico de averías
- Personal de mantenimiento
- Diagramas lógicos y diagramas funcionales

3.2.4 Fase 3: Determinación de los Modos de Fallo.

Una vez determinados todos los fallos que pueden presentar un sistema, un subsistema o uno de los equipos significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de fallo, que es la causa primaria de un fallo o como las circunstancias que acompañan un fallo concreto.

Es aconsejable estudiar modos de fallos y causas primarias de estos fallos, recordando que según “Suárez, D Y Bravo, D. El diagrama de Pareto, representa el 20% de las causas son responsables del 80% de los problemas”. [5]

3.2.5 Fase 4: Análisis de la Gravedad de los Fallos. Criticidad

En esta fase se determina los efectos de cada modo de fallo y, una vez determinados, clasificarlos según la gravedad de las consecuencias.

Considerando tres posibles casos: que el fallo sea crítico, que el fallo sea importante o que sea tolerable.

1. Para que un fallo sea crítico, debe cumplir alguna de estas condiciones:

- a. Que pueda ocasionar un accidente que afecte a la seguridad o al medioambiente, y que existan ciertas posibilidades de que ocurra.
- b. Que suponga una parada de planta o afecte al rendimiento o a la capacidad de producción.
- c. Que la reparación del fallo más los fallos que provoque este (fallos secundarios) sea superior a cierta cantidad.

2. Para que un fallo sea importante:

- d. No debe cumplir ninguna de las condiciones que lo hagan crítico
- e. Debe cumplir alguna de estas condiciones:
- f. Que pueda ocasionar un accidente grave, aunque la probabilidad sea baja
- g. Que pueda suponer una parada de planta, o afecte a la capacidad de producción y/o rendimiento, pero que probabilidad de que ocurra sea baja
- h. Que el costo de reparación sea medio

3. Para que un fallo sea considerado tolerable:

- i. No debe cumplir ninguna condición que le haga ser crítico o importante, y además, debe tener poca influencia en seguridad y medioambiente.

No afecte a la producción de la Estación de Bombeo y tenga un costo de reparación bajo.

3.2.6 Fase 5: Determinación de Medidas Preventivas

Determinados los modos de falla del sistema que se analiza y clasificados estos modos de falla según su criticidad, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten bien evitar el fallo bien minimizar sus efectos. Desde luego, este es el punto fundamental de un estudio RCM.

Las medidas preventivas que se pueden tomar son de 5 tipos:

1. **Mejoras y modificaciones de la instalación:** Lo fallos pueden prevenirse modificando la instalación, como: Cambios de materiales (composición química del acero), Cambios en el diseño de la pieza (La geometría de algunas piezas). Cambio en el diseño de una instalación (Rediseño de una pieza o conjunto). Cambio en las condiciones de trabajo (Medio ambiente que los rodea)

2. **Cambios en el procedimiento de operación:** Para evitar los fallos es necesario adoptar una serie de medidas provisionales si esta llegara a ocurrir, como instrucciones de operaciones para el caso de que llegue a ocurrir un fallo en concreto.

3. **Cambios en procedimiento de mantenimiento:** Algunas avería se producen porque determinadas intervenciones del personal no se hacen correctamente. Es recomendable la redacción de los procedimientos en los que se indiquen claramente como deben realizarse determinadas tareas.

4. **Formación:** Es necesario prever acciones formativas, tanto para el personal de operación como para el de mantenimiento. La formación en determinados procedimientos, en riesgo en particular, o de una avería sucedida en una instalación.

5. **Tareas de mantenimiento:** Son los trabajos que podemos realizar para cumplir el objetivo de evitar el fallo o minimizar sus efectos. Las tareas de mantenimiento pueden, a su vez, ser de los siguientes tipos (**Ver figura 3.1**) :

Tipo 1. Inspecciones Visuales

Tipo 2. Lubricación

Tipo 3. Verificaciones con instrumentos propios

Tipo 4. Verificaciones con instrumentos externos

Tipo 5. Tareas condicionales

Tipo 6. Tareas sistemáticas

Tipo 7. Grandes revisiones, también llamados Mantenimiento cero horas, Overhaul o Hard Time.

Tabla 3.1 Tareas del mantenimiento según su criticidad del fallo.

TIPOS DE TAREAS	TIPOS DE FALLO
1. Inspecciones Visuales	Todos los fallos
2. Tareas de lubricación	Todos los fallos
3. Verificaciones ON-LINE	Todos los fallos
<p>4. Verificaciones OFF-LINE:</p> <p>* Verificaciones sencillas</p> <p>Mediciones de temperatura</p> <p>Mediciones de vibración</p> <p>Medición de consumo de corriente</p> <p>* Verificaciones con instrumentos complejos</p> <p>Análisis de vibraciones, Termografías, Detección de fugas, Análisis de la curva de arranque de motores, Comprobaciones.</p>	Fallos importantes y críticos
<p>5. Tareas condicionales (según los resultados de las verificaciones anteriores)</p> <p>Limpiezas según condición, Ajustes según condición, Sustitución de piezas según su estado</p>	Fallos importantes y críticos
<p>6. Tareas sistemáticas (haya o no síntomas de fallos)</p> <p>Limpiezas sistemáticas, Ajustes sistemáticos, Sustitución sistemática de piezas de desgaste</p>	Solo fallos críticos
<p>7. Mantenimiento cero horas (sustitución de todos los elementos sometidos a desgaste)</p>	Solo fallos críticos

Fuente: Empresa Hidrocaribe

3.2.7 Fase 6: Obtención del Plan de Mantenimiento y Agrupación de Medidas Preventivas

Determinadas las medidas preventivas para evitar los fallos potenciales de un sistema, el siguiente paso es agrupar estas medidas por tipos (tareas de mantenimiento, mejoras, procedimientos de operación, procedimientos de mantenimiento y formación), lo que luego nos facilitara su implementación.

- **Plan de Mantenimiento:** Era inicialmente el principal objetivo buscado. El plan de mantenimiento lo componen el conjunto de tareas de mantenimiento resulte del análisis de fallas.
- **Lista de mejoras técnicas a implementar:** Tendremos una lista de mejoras y modificaciones que es conveniente realizar en la instalación.
- **Actividades de formación:** Estarán divididas normalmente en formación para el personal de mantenimiento y formación para el personal de operación.
- **Lista de procedimientos de operación y mantenimiento a modificar:** Habremos generado una lista de procedimientos a elaborar o a modificar que tienen como objetivo evitar fallos o minimizar sus efectos.

Tabla 3.2 Inventario de Equipo de la Estación de Bombeo de “La Caraqueña”

#	Descripción del equipo	Marca
1	Dos (2) Motor de bomba centrifuga horizontal, Tipo 7DS315LR, Año 2000, r/min. = 1785, 460 voltios. Alimentan al Sector Las Charas	Brook Hansen
2	Uno (1) Motor de bomba centrifuga horizontal, 450 voltios, 1780 rpm, Tipo T, modelo C G058198-253. Alimenta al Sector Las Charas.	U.S. Electrical Motors
3	Uno (1) Motor de bomba centrifuga, 460 voltios, 1780 rpm, Tipo CT, Ambiente hostil. Alimenta al sector Montecristo (permanente)	U.S. Electrical Motors
4	Dos (2) Motor de bomba centrifuga, Tipo 7DS250MN, año 2000,460 voltios, r/min. = 1770. Alimentan al sector Montecristo por turno.	Brook Hansen
5	Dos (2) Válvulas de salida, AWWA 250, 32 vueltas (Sector las Charas)	Mueller
6	Uno (1) Válvula de salida y dos (2) de entrada, GV3000, DN 300, SGRES, BS 5153, Tipo B, 32 vueltas (Sector las Charas)	Glenfield
7	Uno (1) Válvula de entrada, 32 vueltas (Sector Las Charas) y tres (3) válvulas, 26 vueltas (Sector Montecristo) BS 5163, tipo B, DN 300	Glenfield

Fuente: Inspiración propia.

Tabla 3.2 Inventario de Equipo de la Estación de Bombeo de “La Caraqueña” (Continuación.)

#	Descripción del equipo	Marca
8	Uno (1) Válvula, EBCO BS – 5163, 26 vueltas (Sector Montecristo)	Bélgica ST
9	Uno (1) tubería de succión ø 16”, Material Hierro galvanizado, (Sector las Charas)	
0	Tres (3) tubería de descarga ø 10” con reducción a ø 8”, Material Hierro galvanizado, (Sector las Charas)	
1	Uno (1) tubería de impulsión ø 21”, Material Hierro galvanizado, (Sector las Charas)	
2	Uno (1) tubería de succión ø 12”, Material Hierro galvanizado, (Sector Montecristo)	
3	Tres (3) tubería de descarga ø 8” , Material Hierro galvanizado, (Sector Montecristo)	
4	Uno (1) tubería de impulsión ø 21”, Material Hierro galvanizado, (Sector Montecristo)	
5	Dos (2) tableros de control, (Uno para Montecristo y el otro mixto)	
6	Uno (1) Manómetro de entrada y dos (2) de descarga, De Máx. 50mca y 140 mca	BUDENBERG

Fuente: Inspiración propia

Tabla 3.3 Registro de Fallas.

Estación de Bombeo de “La Caraqueña”			Equipo: Bomba centrifuga horizontal			Pág.: 1 de: 2
Registro Estadísticos de Fallas			Sistema: Las Charas y Montecristo			
#	Descripción de la Falla	Mes: Abril	Año: 2010	TFS (Horas)	TOP (Horas)	Observaciones
		Frecuencia de la falla	Reparación			
1	Bomba no arranca	Interdiario	N/A	3	45	
2	Bomba no mantiene presión de descarga	Semanalmente	Semanalmente	6	162	La reparación de la bomba es individual
3	Vibración y Ruido	Permanente	2 a 3 meses	24 a 48	2112	Se repara cuando se realiza la parada de planta o cuando se pone en riesgo el sistema
4	Recalentamiento del Cojinete	Cada 5 días	Cada 5 días	6	114	
5	Contactores Quemados	Cada 4 días	Cada 4 días	2	94	
6	Caída de Breakers	Mensual	Mensual	1	719	
TFS: Tiempo fuera de servicios ; TOP: tiempo de operación				Tot al	66	3 246

Fuente: Empresa Hidrocaribe

Tabla 3.3 Registro de Fallas (Continuación.)

Estación de Bombeo de “La Caraqueña”			Equipo: Bomba centrífuga horizontal			Pág.:2 de: 2
Registro Estadísticos de Fallas			Sistema: Las Charas y Montecristo			
	Descripción de la Falla	Mes: Abril	Año: 2010	TFS	TOP	Observaciones
		Frecuencia de la falla	Reparación	(Horas)	(Horas)	
7	Fuga en Válvula	Permanente	2 a 3 meses	24 a 48	2112	Se repara cuando se realiza la parada de planta o cuando se pone en riesgo el sistema
8	Obstrucción del impulsor	Cada 6 meses	1 mes	720	3600	
9	Motor quemado	N/R	-----	-----	-----	
0	Fuga excesiva prensaestopas	Semanal	2 a 3 meses	24 a 48	2112	
1	Bomba funciona con rotación invertida	N/R	-----	-----	-----	
2	Fallo de alimentación del Motor	Interdiario	N/A	3	45	
TFS: Tiempo fuera de servicios ; TOP: tiempo de operación			Tot al	81 9	78 69	

Fuente: Empresa Hidrocaribe

Al ocurrir una falta de cualquier componente del conjunto, la causa primaria de la fallas se debe establecer antes de reemplazar la(s) pieza(s).

Tabla 3.4 Localización de las fallas

Síntoma	Causa Posible	Según su criticidad	Acción a Tomar
La Bomba no arranca	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Suministro eléctrico al motor esta aislado o falla de suministro. ❖ Adhesión de la bomba o el motor 	Critico	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Revise suministro eléctrico. ❖ Desmantele y rehabilite como sea necesario
La bomba no mantiene Presión de Descarga	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bomba funciona a baja velocidad. ❖ Válvula de succión parcialmente cerrada. ❖ Bomba no esta cebada. ❖ Fuga de aire en la bomba o sistema de succión. 	Critico	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Revise el motor. ❖ Revise válvula de succión. ❖ Ceba la bomba.
	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Juego excesivo de los impulsores. 		<ul style="list-style-type: none"> ❖ Revise por fugas. ❖ Desmantele la bomba y rehabilite como sea.
Fuga excesiva del Prensaestopa	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Sello mecánico ajustado inapropiadamente. ❖ Elementos del sello mecánico desgastado o dañado. ❖ Eje desgastado 	Tolerable	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Desmantele y reensamble el sello. ❖ Reponga el sello. ❖ Desmantele y reensamble el sello.
Ruido/ vibración excesivo	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cavitación. ❖ Conjunto rotatorio desbalanceado impulsor muy desgastado. ❖ Pernos de amarre sueltos. ❖ Desalineación entre bomba y motor. ❖ Cojinetes defectuoso ❖ Material foraneo atrapado en la carcasa de la bomba. ❖ Tubería sustentada incorrectamente. 	Tolerable	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Revise condiciones de succión ❖ Desmantele y rehabilita como sea necesario. ❖ Revise alineación y apriete pernos. ❖ Revise alineación. ❖ Desmantele la bomba y rahabilite como sea necesario. ❖ Revise tubería.

Fuente: Inspiración propia

Tabla 3.4 Localización de las fallas (Continuación)

Síntoma	Causa Posible	Según su criticidad	Acción a Tomar
Recalentamiento de los cojinetes	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Insuficiente/ excesivo lubricante en cojinetes. ❖ Cojinetes defectuosos. 	Tolerable	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Revise el lubricante del cojinete ❖ Desmantele y reemplace el cojinete.
Fuga en Valvula	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Elementos del sello desgastados ❖ Sellos mecanicos ajustados incorrectamente 	Tolerable	<ul style="list-style-type: none"> ❖ La reparacion debe ser supervisada, los repuesto deben ser de buena calidad ❖ Reponga el sello ❖ Desmantele y reensamble el sello.
Contactores quemados	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bobinas quemadas ❖ Instalacion incorrecta ❖ Mala calidad 	Tolerable	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Regular los cambio de voltajes por medios de plantas electricas ❖ La instalacion debe ser realizada por personal capacitado
Caida de Breakers	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cortocircuito ❖ Falla del suministro Central ❖ Demanda excesiva de electricidad 	Tolerable	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Colocar adecuadamente el cableado, se recomienda que sea gente especializada.

Fuente: Inspiración propia

3.3 Aplicación de Métodos que se Adaptan al Registro de Fallas Suministrado por la Empresa Hidrocaribe:

Con el registro de fallas que se obtuvo de la Empresa Hidrocaribe se procedió a implementar los métodos que se podían aplicar con dicho registro, entre los cuales destacan los Modelos Paramétricos, específicamente la Distribución Exponencial porque contábamos con los tiempos entre fallas, y El análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) porque es un método analítico estandarizado aplicable a cualquier empresa o industria para la detección y eliminación de los fallos y la causa que los producen.

3.3.1 Distribución Exponencial

$$R = e^{-\lambda t} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (\text{Ec. 7}) \quad \rightarrow \quad MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad \rightarrow \quad \text{Sustituyendo } \lambda \text{ en ec. 5 tenemos:}$$

$$R = e^{(-t / MTBF)} \quad (\text{Ec. 10})$$

t: tiempo de experimentación: 1 mes= 30d * 24h= 720h.

$$MTBF = \frac{\text{Horasoperadas}}{N^{\circ}\text{defallas}} \quad \rightarrow \quad (\text{Ec. 11})$$

$$MTBF = \frac{11115}{10} = 1111,5h$$

$$R_{(720)} = e^{(-\frac{720}{1111,5})} = 0.523 \rightarrow \quad \mathbf{R_{(720)} = 52.32}$$

De la Ec. 4 Se obtiene la probabilidad de falla $F_{(t)}$, generando lo siguiente:

$$R_{(t)} + F_{(t)} = 1 \quad (\text{EC.4}) \quad \longrightarrow \quad F_{(t)} = 1 - R_{(t)} \longrightarrow F_{(t)} = 1 - 0.523 = 0.477$$

$$F_{(t)} = 0.477 * 100 = 47,7$$

Según los patrones o estándares internacionales llevados por empresas de clase mundial y que representan valores límites para establecer estrategias de diseño, planificación y ejecución de los programas de mantenimiento. Estos patrones son:

Confiabilidad $\geq 90\%$, siendo la probabilidad de falla $\leq 10\%$ [10]

Según el método exponencial, la estación de bombeo de la caraqueña no es confiable puesto que arroja una $R_{(720)} = 52.32\% < 90\%$, y $F_{(t)} = 47,7\% > 10\%$ que son los patrones establecidos por la empresa de clase internacional.

3.3.2 Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)

Para el análisis de los modos y efectos de fallas se utiliza un formato para obtener las acciones a tomar y corregir fallas. (Ver Tabla 3.5 Análisis de Modo y Efecto de la Falla potencial)

Tabla 3.5 Análisis de Modo y Efecto de la Falla Potencial

Página: 1 de: 3

Proyecto: 1

Proceso: No. Nombre: Estación de bombeo AMEF #: 1

Áreas Responsable: Mantenimiento

Fecha: Mayo 2010

Preparado por: Marcano y Serrano

Otras áreas involucradas: Ingeniería Civil

Descripción del proceso		Modo de la falla	Efecto- causa potenciales de fallas	Severidad	criticidad	Causa de falla	Ocurrencia	Acciones recomendadas	Área/ Responsable/ Fecha de cierre
Identificación	Propósito del proceso								
Sistema de bombeo	Surtir agua a los sectores	Bomba	No arranca	10	C	Suministro eléctrico al motor	8	Revise el suministro eléctrico.	Yolimar Serrano .Maria Marcano Mayo 2010.
			No mantiene presión de descarga	8		Bomba no esta cebada	6	Cebe la bomba	
			Ruido y vibración	5	T	Cavitacion	0	Desmantele la bomba y rehabilite como sea necesario	

C: Critico.

Severidad, Criticidad y Ocurrencia (0-10)

T: Tolerable

Fuente del formato [9]

Tabla 3.5 Análisis de Modo y Efecto de la Falla Potencial (continuación)Pagina: 2 de: 3Proyecto: 1Proceso: No. Nombre: Estación de bombeo AMEF #: 1Áreas Responsable: MantenimientoFecha: Mayo 2010Preparado por: Marcano y SerranoOtras áreas involucradas: Ingeniería Civil

Descripción del proceso		Modo de la falla	Efecto-causa potenciales de fallas	Severidad	criticidad	Causa de falla	Ocurrencia	Acciones recomendadas	Área/ Responsable/ Fecha de cierre
Identificación	Propósito del proceso								
Sistema de bombeo	Surtir agua a los sectores	Prensaestopas	Fuga excesiva	6	T	Sello mecánico desgastado	6	Reponga el sello	Yolimar Serrano. Maria Marcano Mayo 2010.
		Cojinetes	Recalentamiento	6	T	Insuficiencia o exceso de lubricante	7	Revise el lubricante del cojinete.	

C: Critico.

Severidad, Criticidad y Ocurrencia (0-10)

T: Tolerable

Fuente del formato [9]

Tabla 3.5 Análisis de Modo y Efecto de la Falla Potencial (continuación)

Página: 3 de: 3

Proyecto: 1

Proceso: No. Nombre: Estación de bombeo AMEF #: 1

Áreas Responsable: Mantenimiento

Fecha: Mayo 2010

Preparado por: Marcano y Serrano

Otras áreas involucradas: Ingeniería Civil

Descripción del proceso		Modo de la falla	Efecto- causa potenciales de fallas	Severidad	criticidad	Causa de falla	Ocurrencia	Acciones recomendadas	Área/ Responsable/ Fecha de cierre
Identificación	Propósito del proceso								
Sistema de bombeo	Surtir agua a los sectores	Válvulas	Fuga	6	T	Sellos ajustados incorrectamente	10	Desmantele y reensamble el sello	Yolimar Serrano. Maria Marcano Mayo 2010.
		Contactores	Quemados	7	T	Bobinas quemadas	7	Regular los cambios voltajes	
		Breakers	Caídos	7	T	Demanda eléctrica excesiva	4	Colocar adecuadamente el cableado	

C: Critico.

Severidad, Criticidad y Ocurrencia (0-10)

T: Tolerable

Fuente del formato [9]

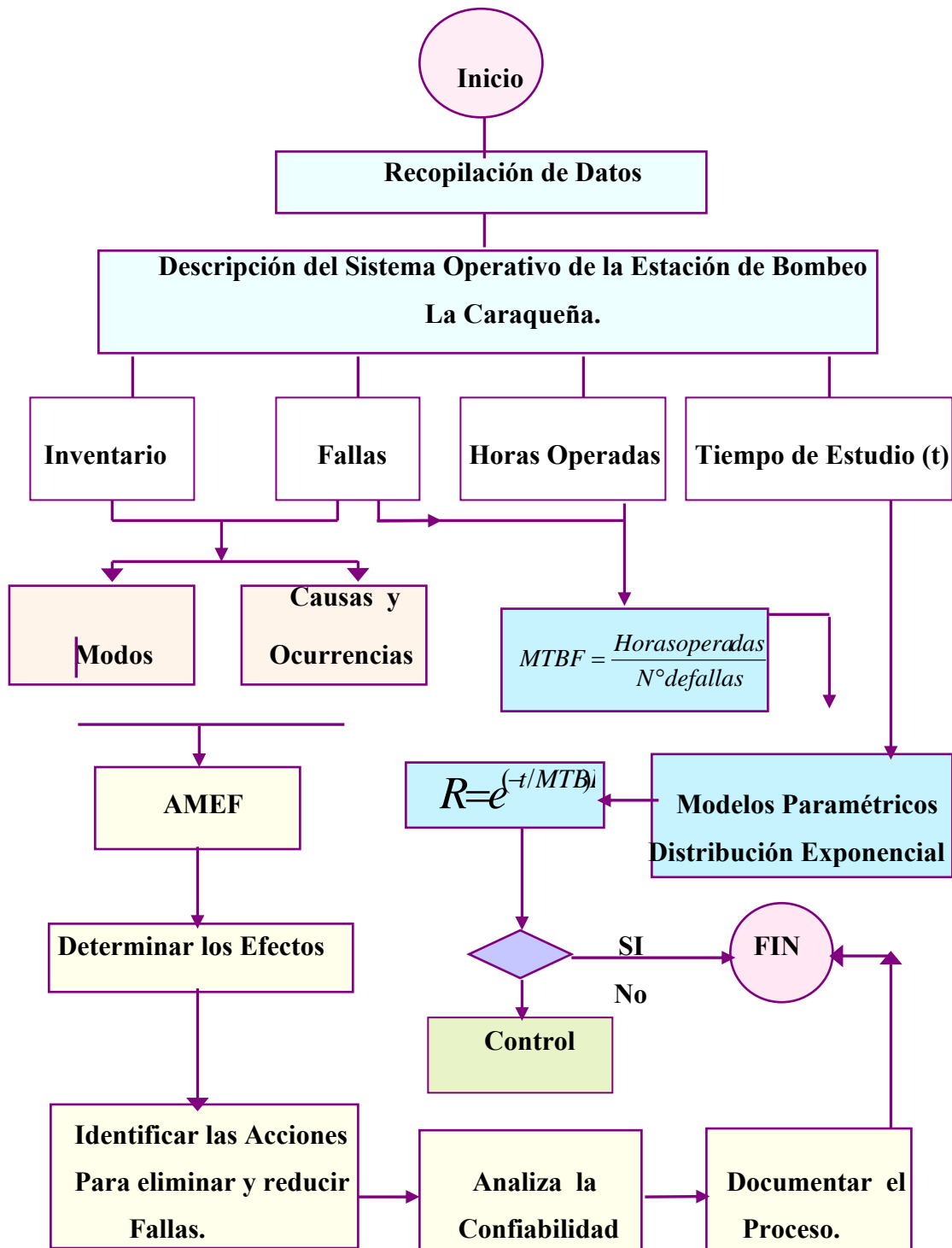
3.3.3 Comparación de Métodos Aplicados

DISTRIBUCION EXPONENCIAL	AMEF
Arroja la tasa de falla mediante los tiempos entre ellas.	Proporciona la orientación para identificar y evaluar las fallas potenciales
Indica si el sistema es confiable comparando el valor obtenido con los parámetros preestablecidos dentro de las políticas de la empresa.	Garantiza que los equipos sean confiables
El valor arrojado indica la probabilidad que tendrá el sistema de fallar.	Establece prioridades y decide acciones para intentar eliminar o reducir la posibilidad de que ocurra las fallas
Este método no genera soluciones.	Genera soluciones a nivel de procesos.

3.4 Selección del Método Apropriado según los Resultados de los Metodos Aplicados para Mejorar la Confiabilidad de la Estación de Bombeo “La Caraqueña”

Luego de la aplicación de los métodos se determinó que el más apropiado es el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) para el caso de la estación de bombeo “La Caraqueña”, pues al aplicar este método se cumplen con las siete fases que rigen al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM o MCC) como: la realización de un inventario, el análisis de fallas, causas y modos, se designan las tareas, las acciones a tomar, tal como se indica en la tabla 3.5 Análisis de Modo y Efecto de la Falla Potencial de este capítulo.

3.5 Flujograma



CAPITULO IV

COMENTARIOS FINALES

4.1 Conclusiones

1. La estación de Bombeo “La Caraqueña”, visualmente se encuentra en deterioro, pues claramente se percibe las fugas de agua, la corrosión, el personal no especializado, etc. debido a la falta de un Plan de Mantenimiento.
2. En la Estación de Bombeo “La Caraqueña”, se toma como falla potencial, la falla eléctrica, sin considerar las fallas tolerables como: las válvulas, ruido y vibración, maleza, cojinetes, etc.
3. Los Modelos no Paramétricos no pueden aplicarse al caso de la estación de bombeo “La Caraqueña”, ya que no se cuenta con un Historial Operacional sino con tiempos entre fallas.
4. Es posible aplicar los modelos paramétricos por contar con un registro de tiempo entre fallas, suministrado por la empresa hidrocaribe para la estación de bombeo “La Caraqueña”.
5. El cálculo de Confiabilidad mediante el Método de Distribución exponencial (paramétrico) resulta poco confiable, porque $R=52.32\% < 90\%$, y $F_{(t)} = 47,7\% > 10\%$, alejándose de los patrones establecidos por la Empresa de Clase Internacional.
6. La frecuencia con que ocurren las fallas, junto con su severidad son una medida de la confiabilidad, es decir, mientras mayor sean éstas menor será tal confiabilidad.

7. El método apropiado para aplicarse a la estación de bombeo “La Caraqueña” resultó ser el AMEF porque analiza de manera general la Confiabilidad del sistema.

4.2 Recomendaciones

1. La Estación de Bombeo requiere una Planta de Emergencia eléctrico.
2. Se requiere de un inventario con el stock de repuestos y herramientas necesarias como: llaves de tubo, alicates, contactores, sellos, pernos y lubricantes.
3. El personal que opera dentro de la Estación debe ser capacitado a un nivel tal, que pueda solventar cualquier inconveniente que se presente en el sistema.
4. El personal debe contar con herramientas necesarias como: computadoras, que permitan obtener un inventario del sistema y los elementos, además llevar de manera eficiente un registro de fallas.
5. El mantenimiento es necesario que sea preventivo y no correctivo para que la estación opere de manera confiable.
6. La estación debe operar en una estructura adecuada para resguardar la seguridad de los equipos.
7. Proponer un programa general de mantenimiento generado por la empresa Hidrocaribe.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

[1] Sotillo. T, Gerardo. J. **“Diseño de un Programa De Mantenimiento Preventivo Basado en La Filosofía Del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”**. _Trabajo de Grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente – Núcleo Anzoátegui. Puerto La Cruz. (2002).

[2] Basantes. A. Luís. A. **“Diseño De Mantenimiento Para los Sistemas De Aguas Blancas De PDVSA Gas Distrito Anaco, Utilizando La Técnica De Mantenimiento Basada En La Confiabilidad”**. Trabajo de Grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente – Núcleo Anzoátegui. Puerto La Cruz. (2004).

[3] Guerra. M, Esteban. R. **“Diseño De Un Plan Estratégico De Mantenimiento Preventivo Basado En La Filosofía DeL Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Para Una Planta Incineradora”**. Trabajo de Grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente – Núcleo Anzoátegui. Puerto La Cruz. (2007).

[4] Tavares, Lourival. **“Administración Moderna de Mantenimiento”**.
Disponible
en:http://grupos.emagister.com/documento/administracion_moderna_de_mantenimiento/1007-64573

[5] Suárez, D. Y Bravo, D. **“Guía Teórico-Practico De Mantenimiento Mecánico”**. Material de apoyo de la cátedra mantenimiento mecánico de la Escuela de Ingeniería Y Ciencias Aplicadas, Departamento De Ingeniería Mecánica, Universidad De Oriente-Núcleo Anzoátegui, Puerto La Cruz. (2008)

[6] **“Reliability Centered Maintenance Guide For Facilities and Collateral Equipment”** NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA) Febrero 2000.

[7] Tamborero del Pino, José. **“Fiabilidad de Componentes: La Distribución Exponencial”** Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_316.pdf

[8] Luna, Ana E. **“Teoría de la Confiabilidad.”** Disponible en: <http://focuslab.lfp.uba.ar/public/CursoTErrores2k4/ExamenFinal/Weibull.PDF>

[9] Reyes A, Primitivo. **“Análisis del Modo y Efecto de Falla”** Febrero 2007. Disponible en: <http://www.icicm.com/files/PFMEA.doc>

[10] García, J. y Sánchez, M. **“Cálculo de Indicadores y Análisis de Gestión de Mantenimiento a la Maquinaria de una Empresa Dedicada a la Ejecución de Obras Civiles y Electromecánicas”**. Trabajo de Grado UDO Anzoátegui, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Ingeniería Industrial. (2005).

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL

- ❖ Meyer, Paúl. **“Probabilidad Y Aplicaciones Estadísticas”**. Fondo Educativo Interamericano, S.A. Italia Editori. (1990).
- ❖ Leal, S y Zambrano, S. **“Fundamentos Básicos de Mantenimiento”**. Fondo editorial UNET, segunda edición, Venezuela (2005).
- ❖ Domingo, J. **“Teoría de Mantenimiento, Fiabilidad”**. Universidad de los Andes, Consejo de publicaciones, Segunda edición, Venezuela (2004).
- ❖ Domingo, J. **“Teoría de Mantenimiento, Definiciones y Organización”**. Universidad de los Andes, Consejo de publicaciones, Segunda edición, Venezuela (2006).
- ❖ Alonso G, Y otros., **“Técnicas para el Mantenimiento y Diagnóstico de Máquinas Eléctricas”**, Editorial Marcombo, Primera edición, España (1998).
- ❖ Durán J. **“Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Plus Cursos para Grupo de Trabajo”** Caracas, Venezuela. (2004).

ANEXOS

VISITA A LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE LA CARAQUEÑA.



ELEMENTOS DEL SELLO DESGASTADO



FUGA EN VÁLVULAS.



TABLEROS ELECTRÓNICOS DE 460V. (NO POSEE LA PANTALLA DE REGISTRO)



CONDICIONES ESTRUCTURALES NO APTAS



LOS ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN ESTÁN DETERIORADOS POR LA
CORROSIÓN



AUSENCIA DE VÁLVULA.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	Tesis. Metodología de Análisis de Confiabilidad para el Mantenimiento de Obras Sanitarias.doc
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
MARCANO ARISMENDI, MARIA EUGENIA	CVLAC: 15.678.941 E MAIL: mariaemarcanoa@gmail.com
SERRANO VALDERRAMA, YOLIMAR DEL VALLE	CVLAC: 14.560.493 E MAIL: yoliser1980@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Análisis de confiabilidad

Mantenimiento

Obras sanitarias

Estación de bombeo

Modos y efectos de fallas

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS	INGENIERIA CIVIL

RESUMEN (ABSTRACT):

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM o MCC), es aumentar la disponibilidad y disminuir costos de mantenimiento no solo de obras sanitarias sino también del estudio de cualquier sistema, al cual se quiera optimizar su operatividad y productividad. Para esto se tomo como lugar de estudio la hidrológica Hydrocaribe específicamente en la estación de bombeo del sector La Caraqueña ubicada en Puerto La Cruz, cuyo objetivo fue determinar la confiabilidad de la estación y los elementos que la componen como: tuberías, bombas y equipos de esta estación.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Morales, Hilda	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL	moraleshc@gmail.com			
	E_MAIL				
Ghanem, Ana	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL	Ana_ghanem@hotmail.com			
	E_MAIL				
Ramírez, Maria	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL	Tochon2@yahoo.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	05	21
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE	Application/msword
CONFIABILIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE	
OBRAS SANITARIAS.doc	

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N O P
Q R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z . 0 1 2 3 4 5 6 7
8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO CIVIL

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PREGRADO

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE CIVIL

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE/ NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

DERECHOS

DE ACUERDO CON EL ARTICULO 41 DEL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE: “LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS POR OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”.

MARCANO A., MARIA EUGENIA

SERRANO V., YOLIMAR DEL VALLE

AUTORES

HILDA MORALES
TUTOR/JURADO

ANA GHANEM
JURADO

MARIA RAMIREZ
JURADO

POR LA SUBCOMISION DE TESIS

YASSER SAAB