



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL. ESTUDIO DE CASO SEPARADORAS DE ACEITE WESTFALIA DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR**

**FREDY FERNANDO RODRIGUEZ TAPIA**

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado  
ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH,  
como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGISTER EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**JULIO 2018**

## **DERECHOS DE AUTOR**

©2018, Fredy Fernando Rodríguez Tapia

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

#### EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Proyecto de Investigación, titulado “ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL. ESTUDIO DE CASO SEPARADORAS DE ACEITE WESTFALIA DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR” de responsabilidad del Sr. FREDY FERNANDO RODRÍGUEZ TAPIA, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

---

Ing. Oscar Granizo; MDE.  
PRESIDENTE

---

FIRMA

---

Ing. Washington Zabala; M.Sc.  
DIRECTOR

---

FIRMA

---

Ing. Marco Santillán; M.Sc.  
MIEMBRO

---

FIRMA

---

Ing. Jorge Freire; M.Sc.  
MIEMBRO

---

FIRMA

Julio 2018

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Fredy Fernando Rodríguez Tapia soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Proyecto de Investigación y el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

FREDY FERNANDO RODRÍGUEZ TAPIA

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a mi esposa Geovanna y mis padres: Judith y Luis. El amor de Dios y mi familia constituye la motivación de todos mis esfuerzos.

Fredy.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, institución a la que debo mi formación profesional.

A Washington Zabala por guiar este proyecto con entusiasmo y por su abnegada entrega a la docencia e investigación.

Fredy.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY .....	xiv
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. EL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Problema de investigación .....	2
1.2.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2.2 Formulación del problema.....	6
1.2.3 Sistematización del problema.....	6
1.3 Justificación de la investigación .....	6
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1. Objetivo general.....	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
1.5 Hipótesis .....	8
1.5.1. Variable dependiente .....	8
1.5.2. Variables independientes.....	9
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. Marco de Referencia .....</b>	<b>10</b>
2.1 Marco teórico .....	10
2.1.1 El modelo CMD - confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad .....	10
2.1.2 Casos de estudio.....	11
2.1.3 Definición de los periodos de operación, mantenimiento y standby.....	13
2.1.4 Confiabilidad.....	14
2.1.4.1 Medidas de confiabilidad .....	16
2.1.5 Mantenibilidad .....	20

2.1.5.1	<i>Medidas de mantenibilidad</i> .....	21
<b>2.1.6</b>	<b><i>Disponibilidad</i></b> .....	22
2.1.6.1	<i>Disponibilidad genérica <math>A_G</math></i> .....	23
2.1.6.2	<i>Disponibilidad inherente <math>A_I</math></i> .....	24
2.1.6.3	<i>Disponibilidad alcanzada <math>A_A</math></i> .....	24
2.1.6.4	<i>Disponibilidad operacional <math>A_o</math></i> .....	25
<b>2.1.7</b>	<b><i>Curva de Davies</i></b> .....	26
<b>2.1.8</b>	<b><i>La distribución de Weibull (generalidades, características)</i></b> .....	28
2.1.8.1	<i>Determinación de los parámetros de Weibull (método analítico)</i> .....	30
2.1.8.2	<i>Determinación de los parámetros de Weibull por el método gráfico</i> .....	34
2.1.8.3	<i>Índices de confiabilidad (distribución de Weibull)</i> .....	37
2.1.8.4	<i>Índices de mantenibilidad (distribución de Weibull)</i> .....	40
<b>2.1.9</b>	<b><i>Software Fiasoft</i></b> .....	42
2.1.9.1	<i>Determinación de la probabilidad de falla</i> .....	43
2.1.9.2	<i>Linealización del modelo de Weibull</i> .....	44
2.1.9.3	<i>Coefficiente de correlación</i> .....	44
2.1.9.4	<i>Determinación del parámetro de forma</i> .....	44
2.1.9.5	<i>Determinación de la vida característica</i> .....	44
2.1.9.6	<i>Determinación de los índices de confiabilidad</i> .....	44
2.1.9.7	<i>Determinación de la probabilidad de trabajo sin falla</i> .....	45
2.1.9.8	<i>Determinación de la probabilidad de falla</i> .....	45
2.1.9.9	<i>Determinación de la tasa instantánea</i> .....	45
2.1.9.10	<i>Determinación de la densidad de probabilidad de falla</i> .....	45
2.1.9.11	<i>Determinación del tiempo medio entre fallas</i> .....	45
2.1.9.12	<i>Generación de gráficos</i> .....	46
<b>2.1.10</b>	<b><i>La separadora centrífuga de aceite Westfalia OSC 15-96-067</i></b> .....	46
2.1.10.1	<i>Principio de funcionamiento</i> .....	46
2.1.10.2	<i>Componentes principales de la separadora centrífuga</i> .....	49
2.1.10.3	<i>El módulo de separación de aceite</i> .....	49

2.2	Marco conceptual .....	54
<b>CAPÍTULO III</b>		
3.	Diseño de Investigación .....	58
3.1	Método de investigación.....	58
3.2	Procedimientos.....	58
3.2.1	<i>Clasificación del equipo</i> .....	58
3.2.2	<i>División del equipo en subunidades</i> .....	59
3.2.3	<i>Modelo de medición de CMD</i> .....	59
3.2.4	<i>Registro de fallas y mantenimiento de la unidad</i> .....	59
3.2.5	<i>Encuesta al personal de operación y mantenimiento</i> .....	60
3.2.6	<i>Cálculo de parámetros de confiabilidad y mantenibilidad en FIASOFT</i> .....	60
3.2.7	<i>Diagrama de Pareto</i> .....	62
3.3	Métodos de recolección de la información.....	62
3.4	Aspectos éticos.....	62
<b>CAPÍTULO IV</b>		
4.	Resultados y Discusión .....	63
4.1	Clasificación del equipo según el estándar ISO 14224 .....	63
4.2	Definición de subunidades del equipo.....	63
4.3	Determinación de los datos de fallas y mantenimiento a recolectar .....	64
4.4	Obtención del registro histórico de operación y mantenimiento del equipo .....	65
4.4.1.	<i>Datos de fallas y mantenimiento correctivo</i> .....	65
4.4.2.	<i>Datos de intervenciones de mantenimiento planificado o preventivo</i> .....	66
4.5	Cálculo de los índices CMD .....	66
4.5.1	<i>Cálculo de los parámetros de medición de la confiabilidad</i> .....	67
4.5.2	<i>Cálculo de la mantenibilidad</i> .....	76
4.5.3	<i>Cálculo de la disponibilidad</i> .....	82
4.6	Análisis de Pareto de las fallas de la separadora .....	92
<b>CAPÍTULO V</b>		
5.	Conclusiones y Recomendaciones .....	94

<b>5.1</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>94</b>
<b>5.2</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>95</b>

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Definiciones de la línea de tiempo.....	14
Tabla 2-2 Características de la curva de Davies .....	27
Tabla 2-3 Interpretación de $\beta$ en la distribución de Weibull.....	29
Tabla 2-4 Características del parámetro de forma $\beta$ .....	29
Tabla 2-5 Valores medios .....	36
Tabla 4-1 Clasificación de la separadora centrífuga de aceite según sus atributos.....	63
Tabla 4-2 Elementos de los subsistemas del módulo de separación de aceite. ....	64
Tabla 4-3 Datos de fallas y mantenimiento considerados para el análisis .....	65
Tabla 4-4 Tiempos de mantenimiento activo obtenidos en encuesta.....	65
Tabla 4-5 Historial de fallas de la separadora de aceite .....	67
Tabla 4-6 Ordenamiento de datos del historial de fallas .....	68
Tabla 4-7 Índices de confiabilidad calculados para diferentes valores de tiempo .....	74
Tabla 4-8 Tabla general de resultados de índices de confiabilidad.....	74
Tabla 4-9 Ordenamiento de datos del historial de reparaciones .....	76
Tabla 4-10 Índices de mantenibilidad calculados para diferentes valores tiempo .....	81
Tabla 4-11 Resultados índices de mantenibilidad.....	81
Tabla 4-12 Tiempos de operación y mantenimiento .....	82
Tabla 4-13 UT y DT (disponibilidad genérica).....	83
Tabla 4-14 UT y DT (disponibilidad inherente) .....	85
Tabla 4-15 Tiempo entre mantenimientos planificados .....	87
Tabla 4-16 Tiempo de mantenimiento planificado .....	88
Tabla 4-17 Tiempo de mantenimiento planificado .....	90
Tabla 4-18 Disponibilidades calculadas.....	91
Tabla 4-19 Número de fallas cuantificadas por subunidad del módulo de separación .....	92
Tabla 4-20 Modos de falla, causas y consecuencias del módulo de separación .....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Presencia de ENI en Ecuador .....	3
Figura 1-2 Separadora centrífuga Westfalia.....	4
Figura 2-1 Función de confiabilidad .....	17
Figura 2-2 Función de distribución de fallas acumuladas .....	18
Figura 2-3 Función de densidad de probabilidad de fallas.....	18
Figura 2-4 Función de mantenibilidad .....	22
Figura 2-5 Curva de Davies .....	26
Figura 2-6 Curva de Davies asociada a conceptos de falla y mantenimiento .....	29
Figura 2-7 Papel de Weibull .....	35
Figura 2-8 Linealización de distribución de Weibull.....	36
Figura 2-9 Determinación de $\beta$ y $\eta$ .....	37
Figura 2-10 Función de densidad de probabilidad de fallas para Weibull .....	38
Figura 2-11 Función de tasa de fallas para la distribución Weibull.....	39
Figura 2-12 Función de confiabilidad para la distribución Weibull .....	40
Figura 2-13 Información de inicio de Fiasoft .....	42
Figura 2-14 Entorno de trabajo de Fiasoft .....	43
Figura 2-15 Sedimentación forzada en una centrífuga.....	46
Figura 2-16 Área y trayecto de sedimentación.....	47
Figura 2-17 Conjunto de platos del tambor de separación.....	48
Figura 2-18 Canalización de sólidos hacia la periferia del tambor .....	48
Figura 2-19 Componentes de la separadora centrífuga .....	49
Figura 2-20 Módulo de separación de aceite .....	50
Figura 2-21 Elementos del módulo de purificación de aceite .....	51
Figura 2-22 Sistema de control del módulo de purificación de aceite .....	53
Figura 3-1 Modelo de medición del CMD.....	61
Figura 4-1 Sistemas del módulo de separación de aceite.....	64
Figura 4-2 Datos de fallas de la separadora de aceite en papel de probabilidad de Weibull .....	69

Figura 4-3 Confiabilidad vs. tiempo (separadora de aceite) .....	70
Figura 4-4 Desconfiabilidad vs. tiempo (separadora de aceite) .....	71
Figura 4-5 Función de densidad de probabilidad de falla (separadora de aceite) .....	72
Figura 4-6 Tasa de falla en función del tiempo (separadora de aceite).....	73
Figura 4-7 Cuadro de resultados de índices de confiabilidad .....	73
Figura 4-8 Resultados de los parámetros de mantenibilidad.....	77
Figura 4-9 Datos de reparaciones de la separadora de aceite en papel de Weibull.....	77
Figura 4-10 Mantenibilidad vs. tiempo (separadora de aceite).....	78
Figura 4-11 Densidad de reparaciones en función del tiempo .....	79
Figura 4-12 Cuadro de resultados de índices de mantenibilidad.....	80
Figura 4-13 Resultados de cálculo de MTBF y MTTR en $A_G$ .....	84
Figura 4-14 Resultados de cálculo de MTBF y MTTR en $A_I$ .....	86
Figura 4-15 Resultado del cálculo de MTBMP.....	88
Figura 4-16 Resultados de cálculo de en $M_p$ .....	88
Figura 4-17 Resultados de cálculo de en MP.....	90
Figura 4-18 Diferencias entre disponibilidades $A_O$ , $A_A$ , $A_I$ , $A_G$ .....	91
Figura 4-19 Diagrama de Pareto, subsistemas y down time causado. ....	93

## RESUMEN

La presente investigación “análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad mediante la distribución de Weibull. Estudio de caso separado de aceite Westfalia de la empresa Agip Oil Ecuador”, plantea como propósito determinar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, con objeto de medir y optimizar la gestión de mantenimiento. El régimen de mantenimiento de este equipo ha sido llevado a casi durante 18 años sin adaptar los planes a su contexto operacional, ni evaluar su efectividad. El análisis de los índices CMD es la única metodología técnica y científica, que mediante parámetros como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR), permite el análisis y evaluación integral del planeamiento, ejecución y control de la gestión de mantenimiento. Mediante el software FIASOFT se procesaron los tiempos de buen funcionamiento y reparación registrados en la bitácora de operación. Se calcularon los índices tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación. Se determinaron las ecuaciones de predicción de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, mismas que permiten estimar estos índices para cualquier valor de tiempo “t”. Se estimaron los valores de disponibilidad genérica, inherente, alcanzada y operacional del equipo; estos valores revelaron falencias como sobre mantenimiento y una lenta respuesta a los requerimientos de recursos y materiales. Se concluyó que las frecuencias de mantenimiento pueden ser alargadas reduciendo costos, por lo que se recomienda ampliar la frecuencia de mantenimiento preventivo de 500h a 1000 horas.

**Palabras clave:** <WEIBULL>, <CONFIABILIDAD, MANTENIMIENTO Y DISPONIBILIDAD (CMD)>, <FIASOFT (SOFTWARE)>, <TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)>, <TIEMPO MEDIO ENTRE REPARACIONES (MTTR)>, <MANTENIMIENTO PREVENTIVO >.

## SUMMARY

The present investigation "analysis of reliability, availability and availability through the distribution of Weibull, a separate case study of Westfalia oil from the company Agip Oil Ecuador", aims to determine the reliability, updating and availability, measurement objective and optimization of the maintenance management. The maintenance regime of this equipment has been carried out for almost 18 years without adapting the plans to its operational context, nor to its recovery solution. The analysis of the CMD indexes is the only technical and scientific measure, which allows the average repair time (MTBF), allows the analysis and integral evaluation of the planning, execution and control of maintenance management. Through the FIASOFT software, the correct operation and repair times recorded in the operation log were processed. Average time indices between faults and average repair time were calculated. The prediction equations for reliability, availability and availability were determined, which allow these indices to be estimated for the time value "t". The values of generic, inherent, reached and operational availability of the equipment were estimated; These values revealed shortcomings such as maintenance and a slow response to the requirements of resources and materials. It was concluded that maintenance frequencies can be reduced, so it is recommended to increase the frequency of preventive maintenance from 500 hours to 1000 hours.

**Keywords:** <WEIBULL>, <RELIABILITY, MAINTENANCE AND DISPOSITIBILITY (CMD)>, <FIASOFT (SOFTWARE)>, <AVERAGE TIME BETWEEN FAILURES (MTBF)>, <AVERAGE TIME BETWEEN REPAIRS (MTTR)>, <PREVENTIVE MAINTENANCE>.

# CAPÍTULO I

## 1. EL PROBLEMA

### 1.1 Introducción

La presente investigación se desarrolla en el área de generación eléctrica de la empresa Agip Oil Ecuador, organización dedicada a la extracción de petróleo de la región amazónica del Ecuador.

La separadora de aceite es un equipo de gran importancia dentro de la planta de generación eléctrica, debido a que cumple la tarea de purificar el aceite lubricante de los motogeneradores.

El equipo inició su operación hace dieciocho años, durante ese tiempo ha estado sujeto a numerosas intervenciones de mantenimiento preventivo y reparaciones. Sin embargo, el esquema de mantenimiento nunca ha sido revisado desde el inicio de su operación, asumiéndose que los planes recomendados por el fabricante y las frecuencias de mantenimiento fijadas de manera subjetiva por el personal técnico son los adecuados.

La empresa cuenta con ocho separadoras de aceite y destina una importante cantidad de recursos para su mantenimiento, pues son equipos de servicio continuo y están diseñados para un largo ciclo de vida. Las tareas de mantenimiento se realizan con el fin de obtener una alta disponibilidad del equipo, que es lo que demanda el fabricante del motor. Sin embargo dicha disponibilidad no se ha cuantificado.

Ante el entorno expuesto se plantea como objetivo realizar una evaluación integral de la gestión de mantenimiento de la separadora de aceite mediante un análisis de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad con el fin de proponer alternativas para su optimización.

Para lograr los objetivos planteados se utiliza una metodología de carácter inductivo deductivo, pues el análisis parte de hechos particulares como la ocurrencia de fallas para la obtención de los índices CMD que son de aplicación generalizada. De forma recíproca se toman las teorías de gestión de mantenimiento y se aplican al caso particular de la Separadora de Aceite.

El texto está organizado en cuatro capítulos: En el capítulo I se presenta el planteamiento, formulación y sistematización del problema, además de la justificación de la investigación, los objetivos y la hipótesis.

En el capítulo II se desarrolla el marco de referencia o estado del arte, se resumen casos de estudio reales, se abordan los fundamentos del CMD y sus parámetros, se exponen aspectos técnicos sobre el equipo en análisis y se presenta un marco conceptual.

En el capítulo III se expone el diseño de la investigación, se detallan los métodos y materiales utilizados, además de los procedimientos aplicados.

En el capítulo IV se muestran y analizan los resultados obtenidos. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta tesis.

## **1.2 Problema de investigación**

### ***1.2.1 Planteamiento del problema.***

Agip Oil Ecuador B.V. es una subsidiaria de ENI (Ente Nazionale Idrocarburi - Entidad Nacional de Hidrocarburos), grupo empresarial con sede en Roma. ENI mantiene operaciones en 79 países y está considerada entre las 6 corporaciones más grandes del sector de gas y petróleo a nivel mundial.

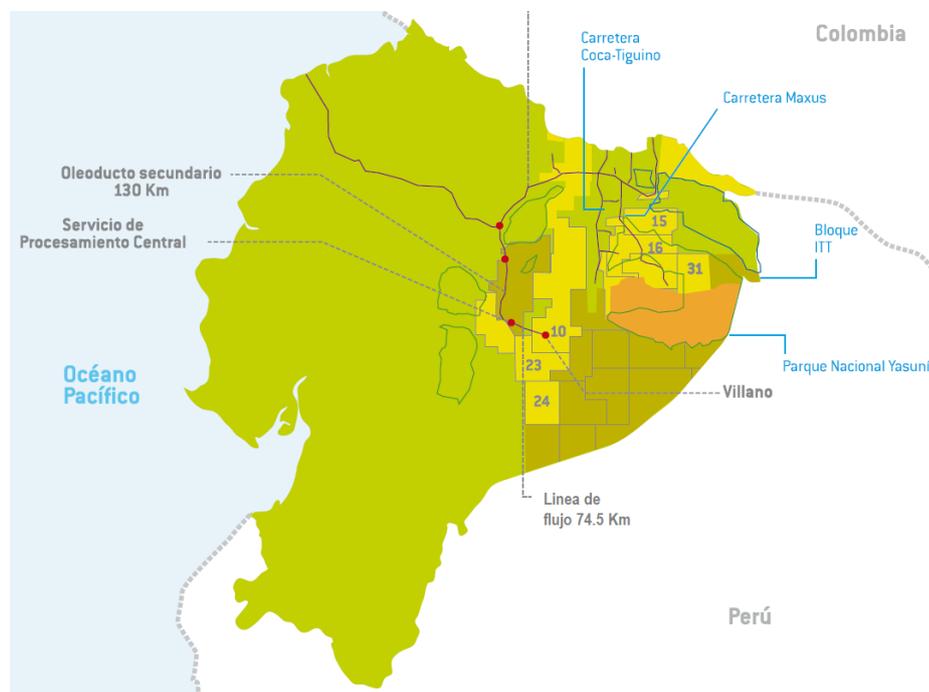
Agip Oil Ecuador B.V. se dedica a la exploración y producción de petróleo en territorio ecuatoriano desde 1998. Es operadora del contrato de prestación de servicios suscrito con la empresa estatal Petroecuador para el bloque 10 de la región amazónica.

El Bloque está situado en la cuenca oriente, aproximadamente a 260 kilómetros al sureste de la capital de Ecuador, Quito (Figura 1-1).

La concesión que se extiende por un área de 2.000 kilómetros cuadrados, incluye el yacimiento petrolífero de Villano, donde se empezó a producir en 1999. El petróleo se extrae de los pozos utilizando bombas electro sumergibles (ESP) que están conectados con un oleoducto de 47,5 kilómetros a la instalación central de procesamiento (CPF), donde el petróleo se separa y se estabiliza antes de enviarlo por el oleoducto secundario a los principales oleoductos de Ecuador (SOTE y OCP) (Agip Oil Ecuador, 2011).

Actualmente para una producción neta diaria de crudo de 11.000 barriles, el total de fluidos diario que se maneja es de aproximadamente 200.000 barriles. Las operaciones también incluyen la gestión de AOE en el manejo del agua, el mantenimiento de la línea de flujo y del oleoducto secundario, y la gestión de los separadores de agua.

Las reservas de petróleo semipesado del campo Villano están situadas en la arena Hollín, alcanzando profundidades verticales de más de 2.800 metros. La extracción supone la complejidad inherente a este tipo de crudo y el levantamiento de grandes volúmenes de fluido que requiere alto consumo de energía para producir crudo y para la disposición de agua de formación que se inyecta en la misma formación de Hollín.



**Figura 1-1** Presencia de ENI en Ecuador  
Fuente: Informe local Agip Oil Ecuador, 2014

Con el fin de mantener los niveles de producción constantes y de compensar la creciente producción de agua del campo, AOE tiene al 31 de diciembre de 2015, catorce pozos productores y cinco pozos inyectoros. AOE ha expandido la capacidad de inyección y las facilidades para procesar una cantidad mayor de fluidos.

La planta de generación de CPF está constituida por cinco grupos electrógenos de 5.3Mw y uno de 8Mw, la planta de Sarayacu por dos de 4.2Mw. Su configuración es similar, cada grupo electrógeno consta de un motor turbocargado de ciclo diésel acoplado a un generador síncrono. Son todos de la marca Finlandesa Wartsila y están diseñados para utilizar petróleo crudo como combustible.

Para la utilización de crudo como combustible de un motor, el mismo requiere un proceso de tratamiento previo. El crudo bajo especificaciones de comercialización, es decir con un BSW menor que 1%, es transportado por tubería a la planta de generación, donde es purificado en separadoras centrífugas que liberan al crudo de sólidos y agua, esto con el fin de evitar el ingreso de contaminantes al sistema de inyección de combustible.

Motores de gran potencia como los mencionados generan una importante cantidad de residuos al utilizar petróleo crudo como combustible. El principal agente de control de estos residuos contaminantes es el aceite lubricante al cumplir la función de lubricar, enfriar y limpiar las superficies de contacto entre elementos mecánicos.

Las cenizas y el agua degradan rápidamente las propiedades del lubricante, por ello se hace necesario su tratamiento. Para ello el motor cuenta con un sistema de purificación de aceite que está constituido principalmente por una separadora centrífuga con una capacidad de 1950 l/h (Figura 1-2). La empresa Agip Oil Ecuador cuenta con una separadora centrífuga para el tratamiento del aceite de cada motor. Es decir ocho en total.

Asegurar el óptimo desempeño de los motores constituye la tarea principal del personal de operación y mantenimiento de la planta de generación, ya que las fallas funcionales de los motores implican pérdidas de producción al no abastecer de energía eléctrica a los equipos de proceso.

La óptima condición del aceite lubricante contribuye con la prolongación del tiempo de vida útil de los elementos mecánicos del motor y con el aumento de su confiabilidad, por lo que las tareas de mantenimiento también se enfocan en asegurar el óptimo funcionamiento de la Separadora de Aceite.



**Figura 1-2** Separadora centrífuga Westfalia  
**Fuente:** Brochure diesel engines, Westfalia, 2009

El fabricante del motor recomienda que la separadora de aceite permanezca en funcionamiento siempre que el motor esté operando, pues de lo contrario se produce acumulación de contaminantes en el sistema de lubricación. (Manual Vasa 16V32, 2002)

El fabricante de la separadora de aceite recomienda realizar mantenimiento preventivo cada 4000 h de funcionamiento (Manual Westfalia, 1998), sin embargo en la práctica no se alcanza ese periodo de operación sin fallas.

En la empresa Agip Oil Ecuador el mantenimiento preventivo de este equipo se realiza cada 500 h, requiriendo para ello ponerlo fuera de servicio durante uno o dos días. Esta tarea es ejecutada generalmente mientras el motor permanece en servicio, es decir, el motor queda desprovisto de su principal sistema de purificación de aceite durante aproximadamente 30 días al año por esa razón. Esta estrategia de mantenimiento preventivo implica también un aumento en los costos de mano de obra principalmente y no está sustentada en estadísticas o estudios de confiabilidad.

Las tareas de mantenimiento correctivo están destinadas a atender problemas de diferente origen, pues se debe considerar que se trata de equipos con 18 años de servicio que a través del tiempo han sido objeto de numerosas intervenciones para reparación y en algunos casos se han remplazado partes con repuestos fabricados en taller, no con repuestos originales, acciones que el fabricante advierte no realizar.

El tiempo empleado para la realización de mantenimiento correctivo incide también en la disponibilidad del equipo, a esto se suman en ocasiones demoras en la realización de reparaciones por problemas administrativos o logísticos como por ejemplo falta de repuestos o de personal técnico.

Los costos más importantes, y difícilmente cuantificables relacionados con la indisponibilidad de la separadora centrífuga son los indirectos ya que durante el tiempo que la separadora está fuera de servicio por mantenimiento, el motor continua en marcha, permaneciendo expuesto al deterioro de sus elementos y acumulando contaminantes en el aceite lubricante con la consecuente reducción de vida útil tanto de los motores como del aceite.

En este contexto, es necesario analizar la Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad de estos importantes equipos a fin de evaluar la efectividad de la gestión y establecer estrategias de mantenimiento ajustadas a la realidad actual que permitan mejorar su disponibilidad.

### ***1.2.2 Formulación del problema.***

¿El modelo CMD aplicado a la separadora de aceite permite realizar una evaluación cuantitativa de la gestión del mantenimiento?

### ***1.2.3 Sistematización del problema.***

¿La Confiabilidad determina la etapa del ciclo de vida, causas de las fallas y estrategias de mantenimiento?

¿De qué manera la mantenibilidad, por medio del tiempo medio entre reparaciones, refleja la capacidad de gestión de mantenimiento de la empresa?

¿Cómo la disponibilidad resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad basándose en tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparaciones?

## **1.3 Justificación de la investigación**

La presente investigación se centra en el análisis de los parámetros de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de la separadora de aceite de la planta de generación eléctrica de la empresa Agip Oil Ecuador. El estudio se enfoca en éste equipo debido a que uno de los principales factores que influyen en el desempeño y durabilidad de los motores es la eficiencia del sistema de lubricación, ya que si el mismo no logra controlar los contaminantes y proteger los elementos mecánicos, se acelera su desgaste y se reduce la eficiencia del equipo.

El principal elemento de control de los contaminantes del aceite lubricante del motor es la separadora centrífuga, por ello se requiere una alta disponibilidad de la misma. Sin embargo dicha disponibilidad nunca se ha evaluado y los planes de mantenimiento nunca han sido revisados o ajustados a la realidad operacional con base en fundamentos técnico-científicos, sino que los cambios se han manejado de manera empírica y subjetiva a pesar de que al contar dentro de la empresa con ocho separadoras de aceite de las mismas características, la ejecución de los mantenimientos mencionados demanda una importante cantidad de recursos, principalmente horas de mano de obra.

Gran parte de los autores de bibliografía sobre ingeniería de mantenimiento coinciden en que el análisis CMD es la única herramienta que permite evaluar la gestión de mantenimiento de forma cuantitativa y con base en fundamentos estadísticos y probabilísticos. Al aplicar el análisis

CMD se obtendrá el valor de los principales índices de la gestión del mantenimiento del equipo, es decir se conocerá la probabilidad de que el equipo funcione sin fallar, o la probabilidad de que las funciones sean restituidas después de la ocurrencia de una falla, de igual manera se conocerá la disponibilidad de la separadora centrífuga de aceite.

La obtención de los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad permitirá evaluar la efectividad de los planes de mantenimiento y su frecuencia de aplicación, de igual forma permitirá evaluar la eficiencia con la que el mantenimiento correctivo es realizado en términos de tiempos de ejecución.

Los datos obtenidos permitirán plantear cambios a los planes de mantenimiento con el fin de mejorar la confiabilidad y ajustar las frecuencias de mantenimiento preventivo conforme a la realidad del contexto operacional en que el equipo se desenvuelve optimizando de esa forma su disponibilidad. Las mejoras en la confiabilidad del equipo significan menos paradas no planificadas, esto evitará que los técnicos de mantenimiento tengan que interrumpir su planificación de trabajo para dedicarse a restituir las funciones de la separadora. Los índices de mantenibilidad pueden ser utilizados para evaluar la gestión del grupo de mantenimiento y establecer metas a fin de reducir los tiempos de reparación y optimizar recursos.

Tras la obtención de mejoras en los índices de confiabilidad y mantenibilidad, la consecuente optimización de la disponibilidad de la separadora de aceite se verá reflejada en los motores de la planta de generación como mejoras en su desempeño y durabilidad al contar con un aceite lubricante más limpio durante su funcionamiento.

Para la empresa Agip Oil Ecuador, las mejoras mencionadas se traducirán a corto plazo en beneficios económicos al prolongarse la vida útil del aceite lubricante, incrementar el tiempo de servicio sin fallas de los elementos mecánicos del motor y mejorar la eficiencia del mismo.

El presente análisis puede constituirse en un punto de referencia de la gestión de mantenimiento de la separadora de aceite, con base en el mismo se podrá monitorear la evolución de los índices de mantenimiento tras la implementación de cualquier cambio.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general.***

Determinar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de la separadora de aceite de la empresa Agip Oil Ecuador con objeto de optimizar la gestión de mantenimiento con base en un sustento técnico.

### ***1.4.2. Objetivos específicos.***

Estimar los índices de confiabilidad de la separadora de aceite de la empresa Agip Oil Ecuador con base en los tiempos de buen funcionamiento registrados en la bitácora de operación y mantenimiento con objeto de evaluar el desempeño de este activo bajo el contexto operacional al que está sujeto.

Estimar los índices de mantenibilidad de la separadora de aceite de la empresa Agip Oil Ecuador con base en los tiempos de reparación registrados en la bitácora de mantenimiento con objeto de evaluar la efectividad de las acciones que el personal aplica en el mantenimiento del activo.

Estimar el índice de disponibilidad de la separadora de aceite de la empresa Agip Oil Ecuador con base en el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparaciones con objeto de evaluar el tiempo durante el cual el activo está en capacidad de cumplir su función.

## **1.5 Hipótesis**

La disponibilidad de la separadora de aceite depende de la confiabilidad y mantenibilidad, basados en el tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparaciones dentro de su contexto operacional.

### ***1.5.1. Variable dependiente***

Considerando que el análisis CMD tiene como propósito maximizar la probabilidad de que un activo funcione adecuadamente, en el presente estudio se considera como variable dependiente a la disponibilidad.

### ***1.5.2. Variables independientes***

Siendo la alta disponibilidad la consecuencia de la reducción de la probabilidad de ocurrencia de fallas y la reducción en el tiempo de ejecución de las reparaciones. Se consideran como variables independientes a la confiabilidad y a la mantenibilidad.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1 Marco teórico

##### *2.1.1 El modelo CMD - confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad*

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis y su evaluación integral y específica; es a través del CMD que se puede planear, ejecutar y controlar totalmente la gestión y operación del mantenimiento. Los análisis CMD se han aplicado a diferentes equipos y sistemas. Sin embargo cada situación es diferente, un mismo equipo en un contexto operativo diferente merece un análisis particular (Mora, 2007).

Según Calixto (2013) es posible evaluar sistemas en su conjunto con metodologías como FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) o RCM (Reliability Centered Maintenance). Sin embargo, incluso en estos casos no es posible definir qué subsistema o equipo impacta en la confiabilidad del sistema. El análisis CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad) permite definir cuantitativamente:

- Disponibilidad y confiabilidad del sistema
- Impacto de la política de stock en la disponibilidad del sistema
- Impacto de la política de mantenimiento en la disponibilidad del sistema
- Impacto de la logística en la disponibilidad del sistema
- Impacto de la redundancia en la disponibilidad del sistema

Para Barringer (2005) es curioso observar como la mayoría de tácticas conocidas como TPM, RCM, proactiva, reactiva, mundial, RCM Scorecard, centrada en objetivos, basada en riesgos, terotecnológica, etc. fundamentan su establecimiento a partir de los indicadores CMD; los cuales proveen los principios básicos estadísticos y proyectivos de las dos manifestaciones magnas de mantenimiento: fallas y reparaciones.

La mejor forma de controlar el mantenimiento y sus implicaciones es a través de su componente confiabilidad y parámetros asociados.

La confiabilidad y la mantenibilidad, son los adjetivos calificativos de la gestión de operación y mantenimiento. La medición de cada una de ellas bajo métodos internacionales permite conocer el comportamiento pasado y más importante aún es el valor futuro de confiabilidad y disponibilidad, con ellos puede obtenerse el valor de la disponibilidad (Mora, 2013).

### **2.1.2 Casos de estudio**

**Calixto (2013)** se propuso como objetivo analizar si una planta de destilación del sector de refinación de petróleo está alcanzando su objetivo establecido de disponibilidad (98% en cinco años) para considerar un mejor desempeño de la planta y determinar los subsistemas y equipos más críticos.

El análisis CMD se realiza mediante los siguientes pasos: Adquisición de datos de falla y reparación, modelado, diagrama de simulación y análisis de severidad. En el primer paso se colectan y registran las fallas ocurridas además de los datos de reparación, luego se modelan con la ayuda de un software de distribución de Weibull, se crean los diagramas de bloques, algunas consideraciones del proceso de la planta se definieron en conjunto con los operadores, ingenieros y personal técnico para crear la configuración más efectiva.

La simulación mostro la disponibilidad del sistema, los subsistemas y los equipos más críticos, con ello se logran identificar aspectos a mejorar en la confiabilidad y la posibilidad de incrementar la disponibilidad del sistema. En este caso de estudio la planta alcanzo el objetivo de disponibilidad, sin embargo es posible incrementar la disponibilidad aún más teniendo en cuenta mejoras en el subsistema de destilación al vacío con base en las mejoras en la confiabilidad de los equipos críticos como la torre y los ventiladores.

**Martínez (2010)** se propuso como objetivo realizar un “Análisis de fallas aplicado a los equipos de carga tipo scoop de la Mina Isidora - Valle Norte perteneciente a la empresa Minera Venrus C.A.”, ubicada en El Callao – Estado Bolívar.

El estudio fue realizado en un período de seis meses, la investigación se considera de tipo descriptiva y exploratoria, y de diseño de campo, no experimental. Esta consistió básicamente en un análisis de la situación actual de los equipos y también se procedió a determinar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los scoop, los equipos que resultaron críticos

fueron el scoop 3.5, scoop 145 y scoop 116, se llegó a esta conclusión evaluando la cantidad de fallas que presentaron cada uno de estos.

La Mantenibilidad menor, resultó ser la del scoop 3.5 con 7,29 h para las actividades de mantenimiento, y la mayor fue la del scoop 116 con 13.29 horas para devolverlo a su estado de funcionamiento. En cuanto a la disponibilidad, el equipo menos disponible fue el scoop 3.5 con solo 3% de funcionamiento diario, el más confiable fue el scoop 116 con 5,5%, si bien es el más confiables el porcentaje es bajo.

Con respecto a la disponibilidad el scoop 116 resultó ser el menor con 0.41 h diarias disponibles. Finalmente se elaboró un plan de mantenimiento preventivo programado que de ser aplicado eficientemente, contribuirá a reducir las horas inoperativas de los equipos de carga. En el plan se encuentran especificadas las actividades a realizar para 125, 250, 500 y 1000 horas.

**Escudero y Rojas, (2010)** Se establecen el objetivo de realizar un análisis de confiabilidad de un seccionador para la empresa eléctrica Azogues. Se realiza un cálculo estadístico de los índices que modelan el comportamiento del sistema de distribución de 22/12.7kV para conocer las zonas críticas del alimentador así como los puntos de mayor impacto conforme la indisponibilidad de los componentes.

Para hallar los puntos de mayor impacto del alimentador. Esto es; transformadores, seccionadores o líneas de distribución con número de desconexiones considerables, se utilizaron los resultados obtenidos de la evaluación de confiabilidad del sistema donde se presentaron los sectores críticos. El CONELEC establece que un sistema eléctrico de tipo urbano no debería sobrepasar las 5 kVA para la frecuencia media de interrupción y las 10 horas por kVA para el tiempo total de interrupción. Considerando estos índices la empresa eléctrica Azogues no cumple la normativa del CONELEC de calidad de servicio.

En función del análisis y evaluación efectuada para el alimentador en estudio y conociendo las causas más comunes de las interrupciones del servicio se presentan puntos críticos donde se recomienda invertir en mejoras como por ejemplo en materiales para la red de baja tensión, principalmente aisladores y bastidores. Se recomienda también cambiar los elementos de conexionado de los transformadores.

**Ebrahimi (2010)** realiza un análisis con el propósito de identificar los peligros y fallas en el proceso de operación que pueden afectar la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de estructuras flotantes en alta mar.

El análisis se centra en el sistema de posicionamiento dinámico (DP), que tiene la responsabilidad de mantener la estructura en alta mar en posición vertical durante su operación mediante propulsores controlados por un sistema automático que monitorea las magnitudes y direcciones de las variables ambientales.

Se utiliza el análisis CMD como método cuantitativo para medir las variables de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad del sistema, basado en MTBF y MTTR de diferentes componentes.

Se obtiene para el sistema un valor de confiabilidad de 75.46%, disponibilidad de 99% y mantenibilidad de 65%. Además de estos resultados, se obtienen datos a partir de la confiabilidad de los subsistemas.

La tarjeta electrónica y los propulsores cumplen un papel fundamental. Se calcula que al mejorar la confiabilidad de la tarjeta de 90 000 h a 150 000 h y la de los propulsores de 200 000 h a 300 000 h, la confiabilidad del sistema mejoraría de 5% hasta alrededor del 80% y la mantenibilidad del sistema de 6% hasta 71%. Eso significa una reducción de fallas y una disminución del riesgo en el período de explotación del buque.

### ***2.1.3 Definición de los periodos de operación, mantenimiento y standby***

La medición de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad se fundamenta en el análisis estadístico de datos referentes a tiempos de actividad sin fallas y tiempos de reparación de equipo o sistemas.

Se define como standby al periodo de tiempo en el que un equipo está listo para funcionar, pero su operación no es requerida o necesaria (ISO, 2004).

Cuando un equipo está en inactividad o “standby caliente”, por ejemplo listo para operación inmediata al arrancar, se considera que está en operación o en servicio.

Un equipo en standby en el que se requieren realizar varias actividades previas para el arranque se considera en “standby frío”.

La norma ISO 14224 (2004) plantea una estandarización conceptual de los elementos que conforman la línea de tiempo de operación y mantenimiento o reparación de un equipo.

**Tabla 2-1:** Definiciones de la línea de tiempo

Tiempo total												
Tiempo de inactividad ( <i>Down Time</i> )							Tiempo de actividad ( <i>Up Time</i> )					
Tiempo de inactividad planificado					Tiempo de inactividad no planificado			Tiempo de operación			Tiempo de no operación	
Mantenimiento preventivo		Otros cortes planificados			Mantenimiento correctivo		Otros cortes no planificados					
Preparación y retrasos	Mantenimiento preventivo activo	Reserva (a)	Standby frío	Modificación (b)	Preparación y retrasos	Mantenimiento correctivo activo (c)	Paradas (d) Restricciones operacionales	Salida de servicio	Entrada en servicio	En servicio	Standby caliente	En espera

Fuente: ISO standard 14224, 2004, p. 35

- (a) Significa que está disponible para ser operado, pero no se requiere hacerlo por un tiempo, no incluye equipos que se han sacado de servicio por un tiempo prolongado.
- (b) La modificación puede cambiar la confiabilidad característica de un ítem por lo tanto requiere la recolección de datos de confiabilidad antes y después de la intervención.
- (c) Incluye el diagnóstico de fallas, acciones de reparación y pruebas.
- (d) Apagones del equipo.

### 2.1.4 Confiabilidad

Es la probabilidad de que un equipo o sistema desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales está diseñado, durante un periodo de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación ambientales y entorno adecuado (Blanchard, 1994).

Según el estándar ISO 14224 (2004) la confiabilidad es la capacidad de un ítem de desempeñar una función requerida bajo condiciones dadas durante un intervalo de tiempo dado.

Existen cuatro características asociadas a la confiabilidad: La probabilidad, el desempeño satisfactorio, el periodo específico de tiempo, y las condiciones dadas de operación o contexto operacional.

- La *probabilidad* es la expresión que representa una fracción o un porcentaje que significa el número de veces que ocurre un evento, dividido por el número total de intentos. Se define en forma clásica como el resultado de dividir el número de veces de los casos estudiados (intentos o eventos, favorables o no) entre el número total posible de casos (intentos o eventos); en la medida que la cantidad de intentos o casos posibles sea mayor la probabilidad se vuelve más exacta y cercana al valor real. (Blanchard, 1994)
- El *desempeño satisfactorio* es el segundo elemento en la definición de confiabilidad, indica que ciertos criterios específicos deben ser establecidos para describir lo que se considera como una “operación satisfactoria”. Las funciones que el equipo debe lograr son definidas por la combinación de aspectos cualitativos y cuantitativos, generalmente se las denomina como las especificaciones del equipo (Blanchard, 1994).

Este aspecto implica además saber cuándo el equipo falla y su desempeño ya no es satisfactorio. Para un tren por ejemplo, el requerimiento es que éste sea capaz de desplazarse junto con la carga, si es así se puede decir que el desempeño del tren es satisfactorio, aun si su bocina no suena o los faros no encienden (Leemins, 1995).

- El *periodo de tiempo* es la variable aleatoria de la función de confiabilidad y hace referencia al tiempo de funcionamiento o a la duración de vida, generalmente se da en unidades de tiempo como horas o días, aunque no necesariamente debe ser así, por ejemplo en el caso de un vehículo de transporte, el periodo de funcionamiento puede ser dado en número de kilómetros recorridos (Ebeling, 2005).
- Las *condiciones de operación dadas* son conocidas también como “contexto operacional”. Son las condiciones en las que se espera que el equipo funcione, constituyen el cuarto elemento significativo de la definición básica de confiabilidad. Estas condiciones incluyen factores como la ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el medio ambiente, el nivel de vibraciones, transporte, almacenamiento, empaque, cantidad de carga, etc. (Ramakumar, 1996).

#### 2.1.4.1 Medidas de confiabilidad

La confiabilidad posee ciertos parámetros o medidas, que sirven para predecir en una forma estadística el desempeño de un equipo, las medidas de confiabilidad se encuentran en función del tiempo, la cual es una variable aleatoria.

Las medidas de confiabilidad son las siguientes:

- Función confiabilidad o probabilidad de trabajo sin falla  $R(t)$
- Función desconfiabilidad o probabilidad de falla  $F(t)$
- Función de densidad de probabilidad de falla  $f(t)$
- Función de tasa de fallas  $\lambda(t)$
- Tiempo medio entre fallas “TMEF”

#### *Función de confiabilidad $R(t)$*

La función de confiabilidad es definida como la probabilidad de que un equipo funcione sin fallar por encima de un período de tiempo  $t$ . Es decir ni antes de  $t$  ni en el instante  $t$ . (García, 1996) Para expresar ésta relación matemáticamente, se define  $\tau$  como la variable aleatoria que representa la vida de un equipo cualquiera. Para estimar o predecir el comportamiento de una variable aleatoria es conveniente conocer su función de distribución de probabilidad.

La función confiabilidad puede ser expresada como:

$$R(t) = \Pr[\tau \geq t] \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{Ecuación (2)}$$

La probabilidad de que la vida  $\tau$  tenga un valor superior o igual a  $t$  o dicho de otra manera, que el equipo no falle antes de un tiempo  $t$ .

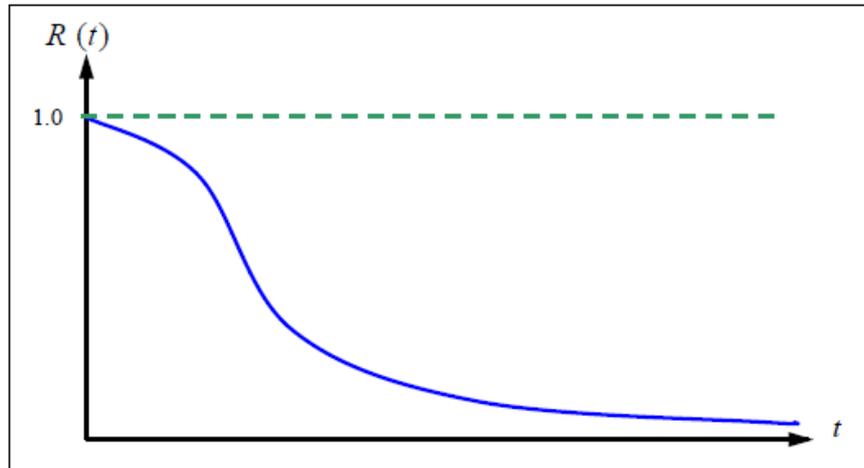
Dónde:

$$R(0) = 1$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$$

La función  $R(t)$  recibe el nombre de función de confiabilidad.

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad \text{Ecuación (3)}$$



**Figura 2-1** Función de confiabilidad  
Fuente: Flores e Hidalgo, 2008

*Función de probabilidad de falla o desconfiabilidad  $F(t)$*

Paralelamente, se define:

$$F(t) = 1 - R(t) = \Pr[\tau < t] \quad \text{Ecuación (4)}$$

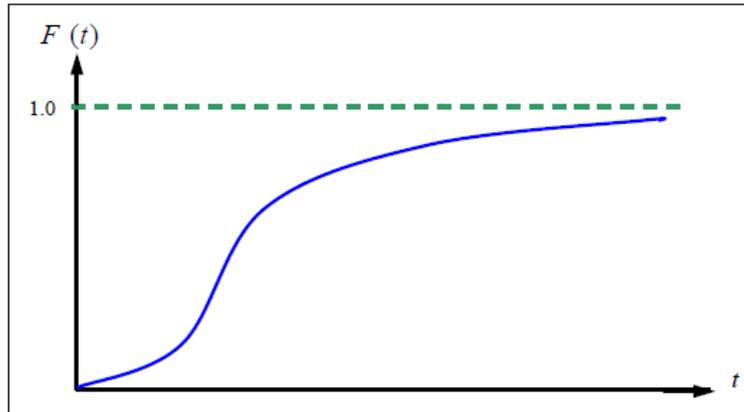
Es la probabilidad de que un equipo no falle en el instante  $t$  o antes de  $t$  (García, 1996). Dónde:

$$F(0) = 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$$

La función  $F(t)$  es la función de distribución de fallas acumuladas

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad \text{Ecuación (5)}$$



**Figura 2-2** Función de distribución de fallas acumuladas  
Fuente: Flores e Hidalgo, 2008

*Función de densidad de probabilidad de falla  $f(t)$*

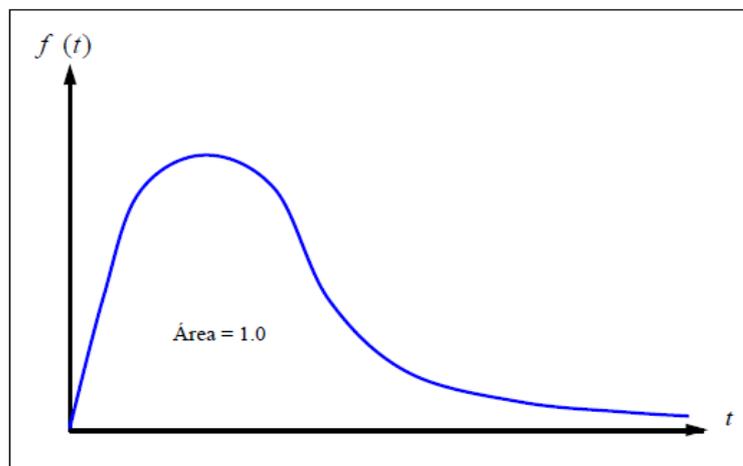
Una tercera función definida como densidad de probabilidad de falla es la que se muestra a continuación:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Es llamada función de densidad de probabilidad de fallas. Esta función describe la forma de la distribución de fallas.

$$f(t) \geq 0$$

$$\int_0^{\infty} f(t)dt = 1 \quad \text{Ecuación (7)}$$



**Figura 2-3** Función de densidad de probabilidad de fallas  
Fuente: Flores e Hidalgo, 2008

Dada la función de densidad de probabilidad de fallas  $f(t)$ , tiene éstas dos propiedades:

$$F(t) = \int_0^t f(t') dt'$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t') dt' \quad \text{Ecuación (8)}$$

En otras palabras, la función de confiabilidad y la función de distribución de fallas acumuladas representan el área bajo la curva definida  $f(t)$ . Por lo tanto, como el área bajo la curva es igual a 1, la confiabilidad y la distribución de fallas acumuladas será definida como:

$$0 \leq R(t) \leq 1 \quad 0 \leq F(t) \leq 1$$

La función  $R(t)$  se usa normalmente cuando se calcula la confiabilidad y la función  $F(t)$  se usa cuando se calcula la probabilidad de fallas.

Al graficar la función de densidad de probabilidad de fallas  $f(t)$ , se proporciona una representación visual de la distribución de fallas.

#### *Función tasa de falla $\lambda(t)$*

La tasa de falla es otra función usada con frecuencia en confiabilidad, además de las funciones de probabilidad definidas anteriormente. Ésta proporciona una tasa de falla instantánea en un momento  $t$ .

$$\Pr\{t \leq \tau \leq t + \Delta t\} = R(t) - R(t + \Delta t) \quad \text{Ecuación (9)}$$

Es la probabilidad de que un elemento que está funcionando en el instante  $t$  deje de funcionar en el intervalo  $(t, t + \Delta t)$  (García, 1996).

Por lo tanto

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{-[R(t + \Delta t) - R(t)]}{\Delta t} * \frac{1}{R(t)}$$

$$\lambda(t) = \frac{-dR(t)}{dt} * \frac{1}{R(t)} \quad \text{Ecuación (10)}$$

Y se obtiene:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \text{Ecuación (11)}$$

*Tiempo medio entre fallas “TMEF” o “MTBF”*

Este índice determina la probabilidad de tiempo que un equipo se encuentre funcionando eficazmente sin fallas. Es la vida media del elemento y es la esperanza matemática del tiempo de funcionamiento hasta la falla de un elemento cuya densidad de fallas es  $f(t)$  (García, 1996).

Muchas veces se desea comparar la confiabilidad de dos equipos competitivos. Una de las medidas más usuales en estos casos, aunque no la única, es el tiempo medio de operación sin fallas, es decir la vida media entre cada uno de ellos. En aquellos casos en que una unidad que ha fallado es reemplazada o se repara de tal forma que su vida esperada sea igual a la de una nueva unidad.

$$TMEF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad \text{Ecuación (12)}$$

El tiempo medio entre fallas proporciona un dato de tiempo eficaz para realizar las tareas del mantenimiento preventivo.

### **2.1.5 Mantenibilidad**

Es la probabilidad de que un elemento o equipo, pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal para cumplir su misión en un tiempo dado, después de una avería, falla o interrupción productiva, mediante una reparación que implica la realización de tareas de mantenimiento en un determinado periodo de tiempo, al nivel deseado de confianza, con el personal especificado, las habilidades necesarias, el equipo indicado, los datos técnicos, manuales de operación y mantenimiento, el departamento de soporte de mantenimiento y bajo las condiciones ambientales especificadas. (Knezevik, 1996).

La Mantenibilidad es la medida de la habilidad de un ítem de ser mantenido o restaurado a condiciones específicas cuando el mantenimiento es realizado por personal con un nivel específico de habilidades y se utilizan procedimientos y recursos prescritos (ISO 14224, 2004).

La forma más clara de medir la mantenibilidad es en términos de los tiempos empleados en las diferentes intervenciones de mantenimiento requeridas para llevar nuevamente el equipo a su estado normal de funcionalidad. La mantenibilidad representa la capacidad de un equipo para dejarse mantener y retornarlo a sus condiciones iniciales (Mora, 2007).

El análisis estadístico de la mantenibilidad estudia la variable aleatoria continua “tiempo fuera de servicio” después de una falla (variable representada por el indicador DT: Down Time). El tiempo fuera de servicio incluye el tiempo activo de reparación más el tiempo por demoras logísticas o retrasos administrativos. Para este análisis se requiere la información de registros de tiempos fuera de servicio asociados a la falla de un equipo (Parra, 2006).

Son varios los aspectos que afectan el desarrollo del mantenimiento de un equipo e intervienen en el tiempo que éste demanda. (Parra, 2006)

Aspectos personales como habilidad, capacidades físicas, entrenamiento, experiencia, etc.

Aspectos operacionales que se refieren a la influencia del entorno donde el equipo opera en función de las consecuencias que la falla ha ocasionado sobre las operaciones, el ambiente, la seguridad, etc.

Aspectos relacionados al medio donde el equipo opera como por ejemplo temperatura, humedad, ruido, iluminación, vibración, ruido, etc.

#### 2.1.5.1 *Medidas de mantenibilidad*

El análisis de mantenibilidad de un equipo se enfoca en la evaluación estadística de los tiempos de reparación de las fallas, de manera complementaria se pueden realizar análisis de mantenibilidad para tiempo de mantenimientos programados.

Básicamente un análisis de mantenibilidad incluye la obtención de dos indicadores principales:

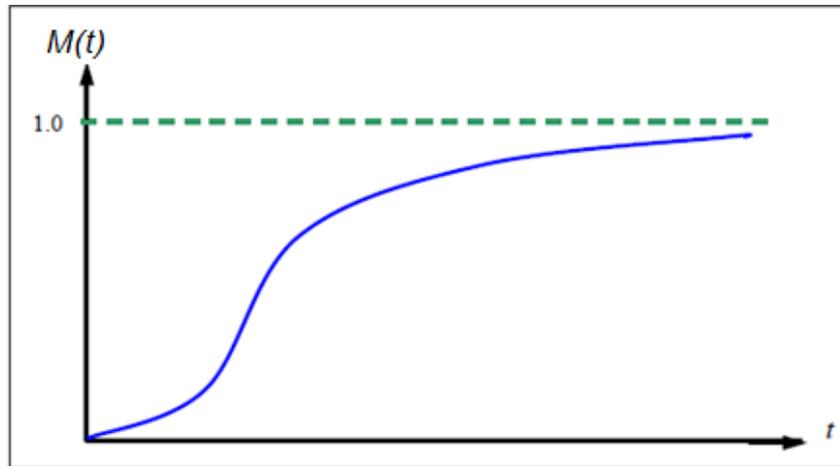
- La función de mantenibilidad  $M(t)$  o distribución acumulada de probabilidad de restaurar el equipo después de la falla.
- El tiempo medio de reparación o media esperanza de reparación MTTR

### *Función de mantenibilidad*

El tratamiento de la curva de mantenibilidad es similar al de la curva de confiabilidad; esta función se representa por  $M(t)$ , e indica la probabilidad de que la función del sistema sea recuperada y el equipo sea reparado dentro de un tiempo definido  $t$  antes de un tiempo especificado total  $T$  (Figura 2-4).

$$M(t) = P[T \leq t]$$

$$M(t) = \int_0^t m(t)dt \quad \text{Ecuación (13)}$$



**Figura 2-4** Función de mantenibilidad

Fuente: Flores e Hidalgo, 2008

### *Tiempo medio de reparación (MTTR)*

El tiempo medio de recuperación es la esperanza de la variable aleatoria tiempo de reparación, que representa el área bajo la función complementaria de la mantenibilidad (Knezevic, 1996).

$$MTTR = \int_0^{\infty} [1 - M(t)]dt \quad \text{Ecuación (14)}$$

### **2.1.6 Disponibilidad**

Es la probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación,

tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico. (Ramakumar, 1996) Según el estándar ISO 14224 (2004) la disponibilidad es la capacidad de un equipo de permanecer en un estado que le permita desempeñar las funciones requeridas en un instante o sobre un intervalo dado de tiempo, asumiendo que son provistos todos los recursos externos.

La disponibilidad (Availability) es una característica que resume cuantitativamente el perfil de operabilidad de un equipo. Representa el porcentaje de tiempo disponible de uso del activo en un periodo determinado (parra, 2006).

Los cálculos de la disponibilidad de manera general se pueden realizar a partir de los valores de MTBF y MTTR utilizando la siguiente expresión:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Ecuación (15)}$$

Hay diferentes tipos de disponibilidad, propuestos por diferentes autores y organizaciones que enfocan sus esfuerzos en la gestión del mantenimiento, todas ellas útiles y aplicables en los diferentes casos o requerimientos de análisis. Siendo las de mayor aplicación la genérica, inherente, alcanzada y operacional.

#### 2.1.6.1 Disponibilidad genérica $A_G$

Cuando se cuenta con datos del tiempo utilizado para mantenimiento preventivo, este debe ser descontado del DT (tiempo fuera de servicio), ya que por concepto la disponibilidad genérica no considera el mantenimiento preventivo, sino únicamente los tiempos totales invertidos en la reparación (mantenimiento correctivo) del equipo (Vallejo, 2004). Se calcula de esta manera la disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos:

$$A_G = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{Tiempo en que puede operar}} = \frac{TT - \sum PM - DT}{TT - \sum PM} \quad \text{Ecuación (16)}$$

Dónde:

TT.- o tiempo total, que representa el tiempo en que el equipo funciona correctamente más el tiempo destinado a mantenimiento tanto correctivo como planificado.

PM.- Representa el tiempo invertido en la ejecución de actividades de mantenimiento planificado, incluyendo demoras logísticas y administrativas.

DT.- Representa el tiempo utilizado en la ejecución de actividades de mantenimiento correctivo, incluyendo demoras logísticas y administrativas.

#### 2.1.6.2 Disponibilidad inherente $A_I$

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas y un entorno ideal de soporte logístico, es decir personal, herramientas, etc. El MTTR es el tiempo activo neto de reparación sin ninguna demora y con todos los recursos disponibles al iniciarse la reparación. La disponibilidad inherente no contempla los mantenimientos planeados (preventivos o predictivos). La disponibilidad inherente está basada únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación (Blanchard, 1994).

$$\text{Disponibilidad Inherente} = A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Ecuación (17)}$$

#### 2.1.6.3 Disponibilidad alcanzada $A_A$

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo condiciones de operación especificadas y un entorno ideal de soporte logístico (Mora, 2007). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidad Alcanzada} = A_A &= \frac{MTBM}{MTBM + M} \\ &= \frac{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}}{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}} + \frac{\frac{MTTR}{MTBM_C} + \frac{M_P}{MTBM_P}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}} \quad \text{Ecuación (18)} \end{aligned}$$

Donde MTBM = Mean Time Between Maintenance, o sea tiempo medio entre mantenimientos, tanto correctivos como preventivos, más que un índice de confiabilidad es un indicador de la

frecuencia de los mantenimientos; es función de la frecuencia de los mantenimientos planeados y correctivos.

MTBMc: tiempo medio entre mantenimientos no planeados o correctivos.

MTBMp: tiempo medio entre mantenimientos planeados.

MTTR= Mean time to repair = tiempo neto medio para realizar reparaciones o mantenimientos correctivos, sin incluir demoras logísticas ni retrasos administrativos, es el mismo definido para las anteriores disponibilidades.

$M_p$  = Tiempo neto medio para realizar tareas proactivas de mantenimientos planificados.

#### 2.1.6.4 Disponibilidad operacional $A_o$

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente cuando se requiere que funcione bien en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas en un entorno real de soportes logísticos, abarcando por lo tanto los tiempos causados por retrasos logísticos y administrativos, es decir, todos los tiempos concernientes al estado de reparación, incluyendo el mantenimiento programado y no programado.

$$\begin{aligned} \text{Disp. Operacional} = A_o &= \frac{MTBM}{MTBM + M} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}} + \frac{MTTR}{MTBM_C} + \frac{M_p}{MTBM_P}} \quad \text{Ecuación (19)} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}} + \frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}} \end{aligned}$$

Donde MTBM = Mean Time Between Maintenance, o sea tiempo medio entre mantenimientos, tanto correctivos como preventivos, más que un índice de confiabilidad es un indicador de la frecuencia de los mantenimientos; es función de la frecuencia de los mantenimientos planeados y correctivos.

MTBMc: tiempo medio entre mantenimientos no planeados o correctivos.

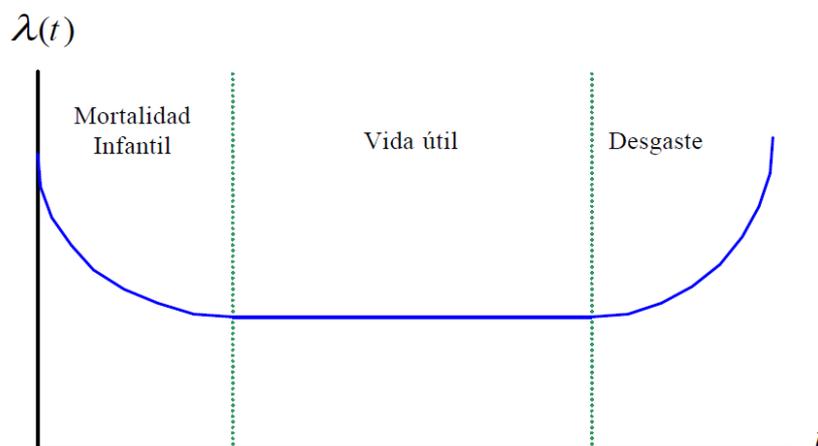
MTBMP: tiempo medio entre mantenimientos planeados.

MTTR= Mean time to repair = tiempo medio para realizar reparaciones o mantenimientos correctivos, incluidas demoras logísticas y retrasos administrativos.

$M_p$  = Tiempo medio real para realizar tareas de mantenimientos planeados, incluye retrasos logísticos y demoras administrativas.

### 2.1.7 Curva de Davies

Corresponde a la función de tasa de falla, por su forma es conocida también como curva de la bañera (figura 2-5) y básicamente expresa los tres periodos típicos de un equipo: mortalidad infantil, vida útil y desgaste (Kelly, 1998).



**Figura 2-5** Curva de Davies  
Fuente: Ebeling, 2005

- **Mortalidad Infantil.-** Es el período al inicio de la operación, donde con frecuencia ocurren fallas prematuras debidas a defectos no detectados, defectos de diseño no corregidos, errores en la fabricación y el montaje, en el caso de equipos mecánicos y elementos todavía no ajustados a sus tolerancias naturales. En este tipo de falla, la tasa de falla es decreciente con el tiempo. También se conoce con el nombre de “período de rodaje” o “período infantil”.
- **Vida Útil.-** Es el segundo intervalo de la gráfica donde la tasa de fallas es constante, lo que indica que las fallas son totalmente aleatorias y no depende del tiempo transcurrido

desde la última falla, durante el cual se espera que el equipo desempeñe la mayoría de las funciones.

- **Desgaste.-** Es el último intervalo de la curva, donde la tasa de falla aumenta sostenidamente porque los elementos del equipo sufren un proceso de deterioro físico debido al roce mecánico u otras consideraciones. En determinado momento, los costos de mantenimiento e indisponibilidad serán tan elevados que el equipo deberá sustituirse. Alternativamente, podría implantarse una política de sustitución de elementos que permitiera aumentar el período de vida útil.

La curva de tasa de falla es de gran ayuda para estudiar la confiabilidad y tomar medidas adecuadas para mejorarla. Por ejemplo, si un equipo presenta una alta tasa de fallas en el período infantil, es conveniente someterlo a un funcionamiento previo de rodaje controlado. Por otra parte, saber cuándo se inicia el desgaste, permite reducir el riesgo de fallas mediante un mantenimiento preventivo o el reemplazo de componentes antes de que comience el desgaste. (Ebeling, 2005)

La tabla 2-2 muestra un resumen de las características principales de la curva de Davies asociada al mantenimiento.

**Tabla 2-2** Características de la curva de Davies

	Característica	Causado por	Disminuido con
Mortalidad Infantil	Disminución de la tasa de falla	Defectos de manufactura: Defectos en soldadura. Grietas. Partes defectuosas. Bajo control de calidad. Contaminación. Subdimensionamiento. Montajes Incorrectos. Procesos inadecuados.	Examen de rodaje. Control de Calidad. Examen de aceptación.
Vida Útil	Tasa de falla constante	Mantenimiento Inadecuado. Entorno de trabajo. Cargas aleatorias. Errores humanos. "Actos de Dios". Eventos fortuitos.	Exceso de fuerza Redundancia
Desgaste	Aumento de la tasa de falla	Fatiga. Corrosión. Envejecimiento. Fricción. Cargas cíclicas. Defectos no detectables. Coeficientes de seguridad reducidos.	Mantenimiento preventivo. Reemplazo de componentes. Tecnología.

Fuente: Mora, 2007, p. 200

### 2.1.8 La distribución de Weibull (generalidades, características)

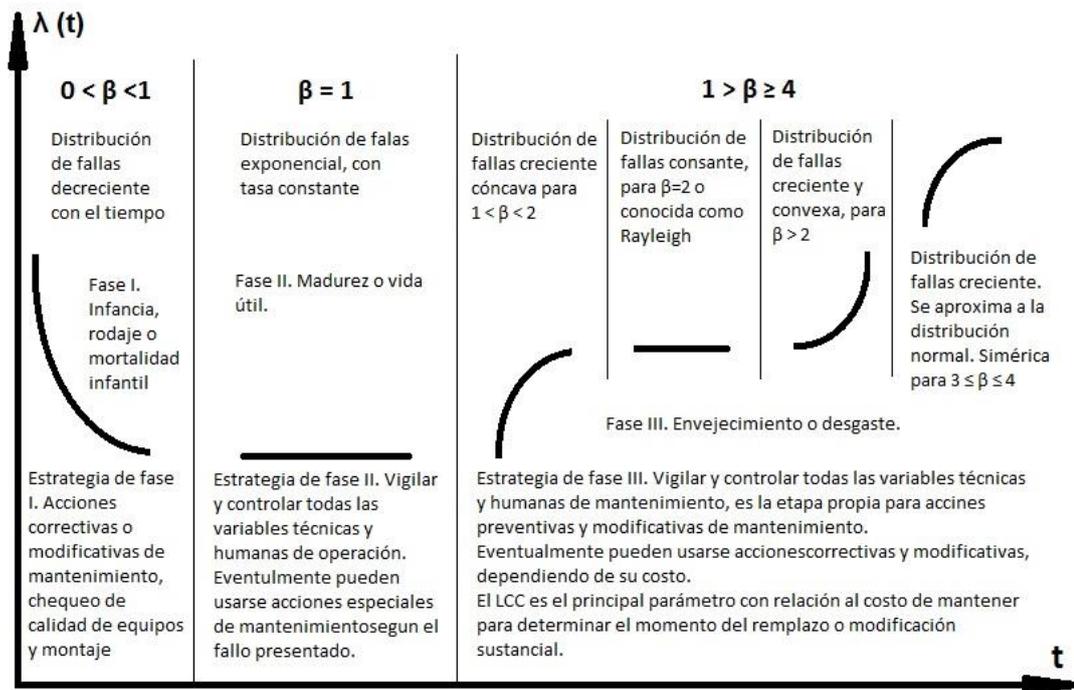
La distribución de Weibull fue desarrollada por el matemático sueco Waloddi Weibull en el año 1951. Anunció que su distribución puede ser aplicada a una amplia gama de problemas. Ilustró su distribución con varios ejemplos que van desde la resistencia del acero hasta la altura de los hombres adultos en las islas británicas (Abernethy, 2004).

Ésta distribución se utiliza con frecuencia en el estudio del tiempo de vida o tiempo para la falla de elementos mecánicos. Una de las características fundamentales de las variables que siguen la distribución de Weibull, es que el número de ocurrencia de eventos de fallas por unidad de tiempo no permanece necesariamente constante; es decir la tasa de ocurrencia de eventos de fallas puede crecer o decrecer con el tiempo (Ebeling, 1997).

La ley de Weibull cubre los casos en que la tasa de falla  $\lambda$  es variable y permite por tanto ajustarse a los períodos de “juventud” y a las diferentes formas de “envejecimiento” de la curva de la bañera (Rojas, 1975).

La distribución de Weibull posee, en su forma general, tres parámetros lo que le da una gran flexibilidad. Ellos son:

- **Parámetro de posición ( $\gamma$ ):** No es fácil de estimar y por este motivo se asume con frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula.
- **Parámetro de escala o característica de vida ( $\eta$ ):** su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema. Cuando  $\eta = 0$  y  $\beta = 1$ , representa la vida útil en unidades de tiempo.
- **El parámetro  $\beta$ :** o parámetro de forma, permite a la distribución de Weibull tomar diversas formas, parámetros  $\beta$  menores a 1 son característicos de los equipos en períodos de mortalidad infantil (tasa de falla decreciente); con valores cercanos a uno, de equipos en períodos de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria); y con valores mayores a 1, de equipos en períodos de desgaste (tasa de falla creciente), A mayor  $\beta$ , mayor desgaste. Ésta característica puede ser usada para construir fórmulas de valorización de equipos. (Calixto, 2013, p.50)



**Figura 2-6** Curva de Davies asociada a conceptos de falla y mantenimiento  
Fuente: Mora, 2007

La tabla 2-3 muestra un resumen de los períodos de la curva de la bañera asociados al parámetro  $\beta$  de la distribución Weibull:

**Tabla 2-3** Interpretación de  $\beta$  en la distribución de Weibull

Valor ( $\beta$ )	Característica
$\beta < 1$	Tasa de falla decreciente (Mortalidad infantil)
$\beta \approx 1$	Tasa de falla constante (Vida útil)
$\beta > 1$	Tasa de falla creciente (Desgaste)

Fuente: Flores e Hidalgo, 2008

La tabla 2-4 muestra las características del parámetro de forma  $\beta$  de Weibull:

**Tabla 2-4** Características del parámetro de forma  $\beta$

Valor ( $\beta$ )	Característica
$0 < \beta < 1$	Tasa de falla decreciente
$\beta = 1$	Distribución Exponencial
$1 < \beta < 2$	Tasa de Falla creciente, cóncava
$\beta = 2$	Distribución Rayleigh
$\beta > 2$	Tasa de Falla creciente, convexa
$3 \leq \beta \leq 4$	Tasa de Falla creciente se aproxima a la distribución Normal; simétrica

Fuente: Flores e Hidalgo, 2008

### 2.1.8.1 *Determinación de los parámetros de Weibull (método analítico)*

Uno de los problemas fundamentales de la distribución de Weibull es la evaluación de los parámetros ( $\eta$ ,  $\beta$ ) de esta distribución. Para ello se dispone de métodos analíticos como el método de máxima verosimilitud y el de mínimos cuadrados o también denominado método de regresión lineal.

Para poder determinar los índices de confiabilidad del modelo de Weibull, se utiliza el método estadístico de estimación por mínimos cuadrados, por ser un método eficaz y el cual se usa con más frecuencia en programas de liberalización de datos de dispersión.

#### *Preparación de los datos*

Los datos para los estudios de confiabilidad provienen, muy a menudo de los históricos de fallas, y a veces de los resultados de ensayos.

En todos los casos se calculan los tiempos de buen funcionamiento y se clasifican en orden creciente. En un histórico, el TBF es el intervalo de tiempo transcurrido entre dos fallas, que se localizan por su fecha. Para un ensayo, el TBF es el tiempo registrado antes de alcanzar el umbral de degradación (Abernethy, 2004).

El número de TBF registrados es N, tamaño de la muestra.

Si  $n > 50$ , se agrupará los TBF por clases, su frecuencia acumulada se expresa:

$$F(i) = \frac{i}{n} = \frac{\sum ni}{n} \quad \text{Ecuación (20)}$$

Dónde: i=número de orden de falla

N=tamaño de la muestra

Si  $50 > n > 20$ , se dará un rango i a cada falla, la frecuencia acumulada es:

$$F(i) = \frac{i}{n + 1} \quad \text{Ecuación (21)}$$

Si  $20 > n$ , se aplicará la fórmula de los rangos medianos:

$$F(i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad \text{Ecuación (22)}$$

*Determinación de la ecuación de la recta*

Para la determinación de la ecuación de la recta se utiliza el modelo de Weibull que tiene la siguiente función de confiabilidad.

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = \text{Exp} \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

Igualando las ecuaciones.

$$1 - F(t) = \text{Exp} \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

Aplicando logaritmos naturales a los dos lados de la ecuación se tiene:

$$\text{Ln}(1 - F(t)) = - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta$$

Se multiplica por (-1) y volviendo a tomar logaritmos:

$$\text{Ln}[-\text{Ln}(1 - F(t))] = \beta * \text{Ln} \left( \frac{t}{\eta} \right)$$

Aplicando la ley de los logaritmos.

$$L \left[ \text{Ln} \left( \left( \frac{1}{1 - F(t)} \right) \right) \right] = \beta * \text{Ln}(t) - \beta * \text{Ln}(\eta) \quad \text{Ecuación (23)}$$

Si a esta igualdad se aplica:

$$y = \text{Ln} \left[ \text{Ln} \left( \frac{1}{1 - F(t)} \right) \right] \quad \text{Ecuación (24)}$$

$$x = \text{Ln}(t) \quad \text{Ecuación (25)}$$

$$c = -\beta * \text{Ln}(\eta) \quad \text{Ecuación (26)}$$

$b = \beta$  (Coeficiente director o pendiente)

De donde se obtiene:

$$y = bx + c$$

*Cálculo de la pendiente  $\beta$*

Mediante el método de los mínimos cuadrados se obtiene la pendiente con la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{n * \sum xy - \sum x * \sum y}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \text{Ecuación (27)}$$

Dónde:

n=número de datos

*Cálculo de la constante c*

$$c = \frac{\sum y * \sum x^2 - \sum x * \sum xy}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \text{Ecuación (28)}$$

*Factor de correlación*

Hasta este punto se supone que la variable de regresión independiente x es una variable física o científica pero no una variable aleatoria. De hecho, en este contexto, x a menudo se llama variable matemática, que en el proceso de muestreo, se mide con un error insignificante. En

muchas aplicaciones de las técnicas de regresión es más realista suponer que X y Y son variables aleatorias y que las mediciones  $\{(X_i, Y_i); i = 1, 2, \dots, n\}$  son observaciones de una población que tiene la función de densidad conjunta  $f(x, y)$ . Hay que considerar el problema de medir la relación entre las dos variables X y Y.

El análisis de correlación mide la fuerza de tales relaciones entre dos variables por medio de un solo número llamado coeficiente de correlación.

$$Re = \frac{\sum xy - n * Prx * Pry}{\sqrt{\sum x^2 - n * (Prx)^2} * \sqrt{\sum y^2 - n * (Pry)^2}} \quad \text{Ecuación (29)}$$

$$Prx = \frac{\sum x}{n} \quad Pry = \frac{\sum y}{n} \quad \text{Ecuación (30)}$$

#### *Cálculo de vida característica $\eta$*

Es el parámetro de escala y su valor viene dado por la intersección de la recta trazada con la línea paralela al eje de abscisas correspondiente al 63,21 % de fallas acumuladas. En efecto se demuestra que para la ordenada  $t(0) = 0$ ,  $F(t) = 63,21$ .

$$y = Ln \left[ Ln \left( \frac{1}{1 - F(t)} \right) \right] = 0$$

Tomando exponentes

$$Ln \left( \frac{1}{1 - F(t)} \right) = 1$$

$$\frac{1}{1 - F(t)} = e$$

Despejando F(t)

$$F(t) = 1 - \frac{1}{e} \quad \text{Ecuación (31)}$$

$$F(t) = 1 - 0.3679 = 0.6321$$

$$F(t) = 63.21\%$$

De donde para  $t(0) = 0$  se obtiene que:

$$b * x + c = 0$$

Como se vio anteriormente:

$$b = \beta$$

$$c = -\beta * Ln(\eta)$$

Se cumple:

$$\beta * x - \beta * Ln(\eta) = 0$$

$$\beta * x = \beta * Ln(\eta)$$

$$x = Ln(\eta)$$

Como:

$$x = Ln(t)$$

Se obtiene que:

$$Ln(t) = Ln(\eta) \quad \text{Ecuación (32)}$$

$$t = \eta$$

#### 2.1.8.2 Determinación de los parámetros de Weibull por el método gráfico

Por la experiencia adquirida en la estimación de los índices de confiabilidad, muchos coinciden en que el método más rápido y con una aceptable aproximación y poco margen de error, es en el que se utiliza el papel de Weibull (figura 2-7). (Abernethy, 2004, p. 2-6), este papel tiene las siguientes características:

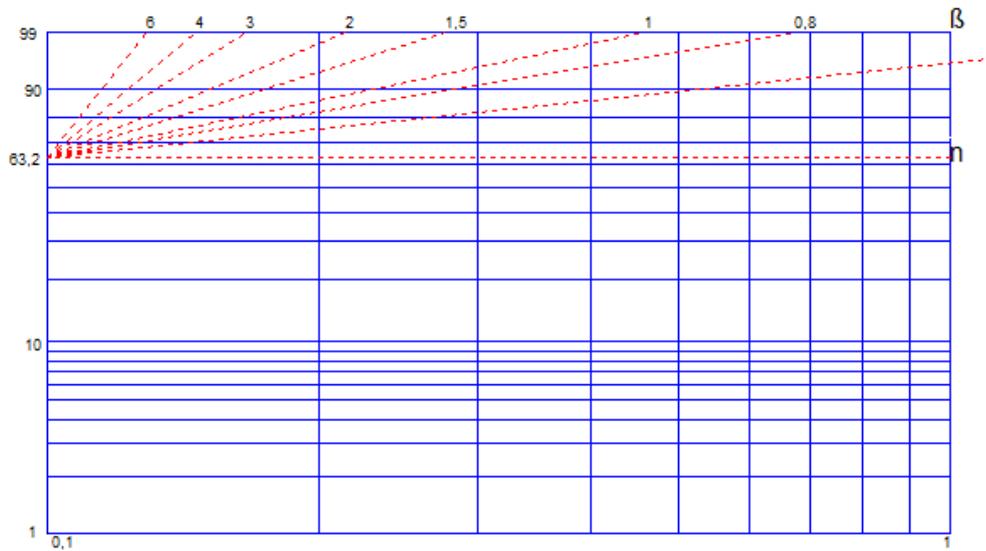
Está graduado a escala funcional de la siguiente forma:

En el eje de ordenadas se tiene: un doble logaritmo de uno menos el inverso de la confiabilidad.

$$\ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - F(t)} \right) \right] \quad \text{Ecuación (33)}$$

El eje de abscisas es: logaritmo del tiempo.

$$\ln(t) \quad \text{Ecuación (34)}$$



**Figura 2-7** Papel de Weibull  
Fuente: Fiasoft 2008

*Ordenamiento e ingreso de los datos en la gráfica*

Antes de ingresar los datos en la gráfica se debe ordenar los tiempos de buen funcionamiento en forma ascendente, y determinar la función de distribución de fallas  $F(t)$  según el número de datos, se debe crear una tabla que contenga estos datos en una forma ordenada y clara, como se muestra en la tabla (2-5) para 6 datos.

Para cada dato de buen funcionamiento le corresponde un dato de  $F(t)$ , los cuales se deben ingresar en la gráfica de probabilidad de Weibull en sus ejes correspondientes.

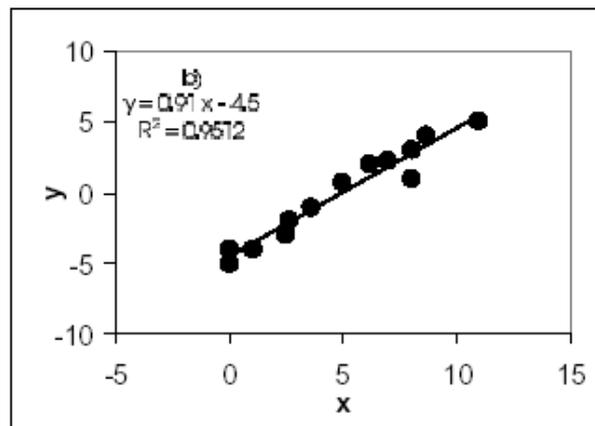
**Tabla 2-5** Valores medios

Orden	Tiempos de buen funcionamiento(T)	Valores medios clasificados $F(t) = \frac{i-0,3}{N+0,4} * 100$
1	Dato 1	10,94
2	Dato 2	26,26
3	Dato 3	42,18
4	Dato 4	57,81
5	Dato 5	73,44
6	Dato 6	89,06

Fuente: Fiasoft, 2008

*Trazar la recta de relación lineal*

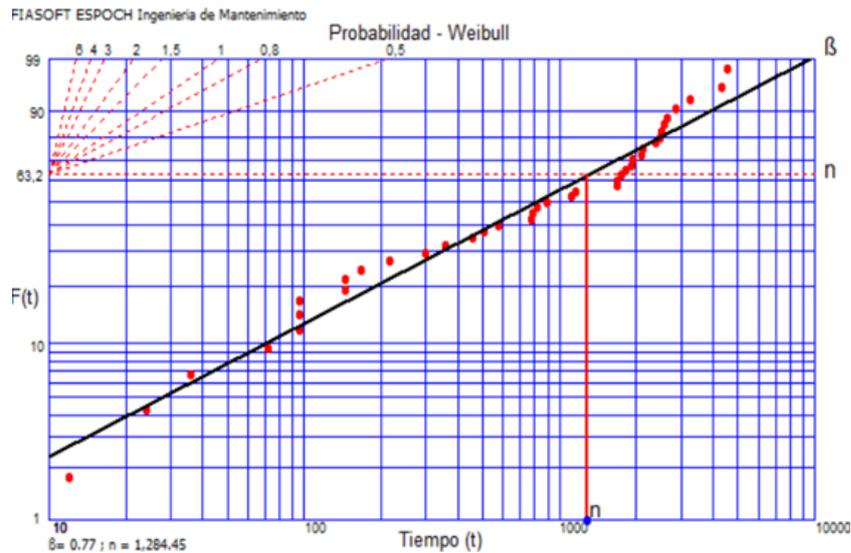
Para trazar correctamente la línea de relación lineal entre los puntos graficados, se debe tener en cuenta que la línea a trazar debe cruzar por el mayor número de puntos, también los puntos que se encuentren dispersos, deben estar aproximadamente iguales a ambos lados de la recta.



**Figura 2-8** Linealización de distribución de Weibull  
Fuente: Flores e Hidalgo, 2008

*Cálculo del parámetro de forma beta  $\beta$*

Beta es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta. Para calcularlo, se hace pasar una recta paralela a la recta obtenida con la representación gráfica de los datos de partida por el punto 1 de abscisas y 63,2 de ordenadas pudiendo leer directamente el valor de  $\beta$  en una escala graduada de 0.5 a 6.



**Figura 2-9:** Determinación de  $\beta$  y  $\eta$   
Fuente: Fiasoft, 2008

#### *Determinación del parámetro de vida característica $\eta$*

Es el valor leído directamente en el gráfico de Allen Plait o de Probabilidad de Weibull para la ordenada 63,2 en la intersección con la recta de los puntos. Se traza una línea recta vertical al eje del tiempo y se obtiene directamente su valor (Calixto, 2013).

Como se explicó anteriormente, la vida característica  $\eta$ , se determina en el eje X, con la ayuda de la ecuación de la recta, cuando su valor en el eje Y es de 63.2,  $\eta = 1284.45h$ , se observa esto en la figura anterior por medio de la línea gruesa vertical.

La distribución de Weibull es ampliamente utilizada para el cálculo de los índices de confiabilidad y mantenibilidad por las bondades que su flexibilidad presenta ante otros tipos de distribuciones.

#### *2.1.8.3 Índices de confiabilidad (distribución de Weibull)*

##### *Densidad de probabilidad de falla $f(t)$*

La función de densidad de probabilidad de falla, describe la forma de la distribución de fallas con respecto al tiempo.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t - \gamma)^{\beta-1} \exp \left[ - \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \text{ Siendo } t \geq \gamma \quad \text{Ecuación (35)}$$

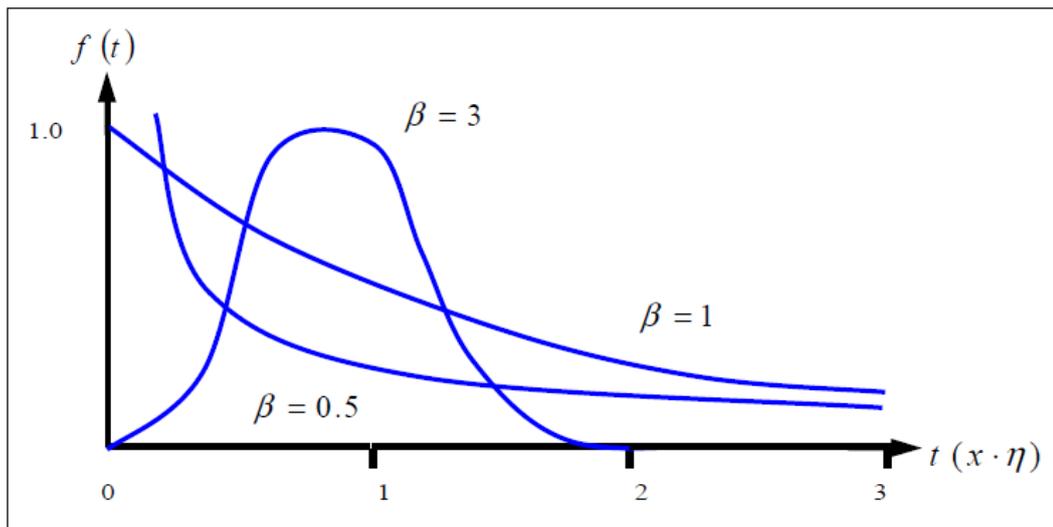
Dónde:

$\beta$  = Parámetro de forma.  $\beta > 0$

$\eta$  = Parámetro de escala o vida característica  $\eta > 0$

$t$  = Tiempo de estimación

$\gamma$  = Parámetro de localización o tiempo inicial



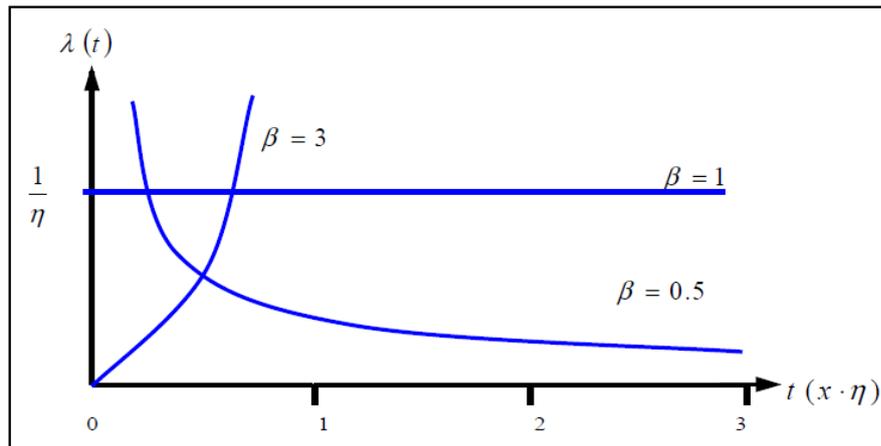
**Figura 2-10** Función de densidad de probabilidad de fallas para Weibull

Fuente: Flores e Hidalgo, 2008

Tasa de falla  $\lambda(t)$

La tasa de falla es otra función usada con frecuencia en confiabilidad, además de las funciones de probabilidad definidas anteriormente. Ésta nos proporciona una tasa de falla instantánea en un momento  $t$ .

$$\lambda(t) = \frac{\beta(t - \gamma)^{\beta-1}}{\eta^\beta} \quad \text{Ecuación (36)}$$



**Figura 2-11** Función de tasa de fallas para la distribución Weibull  
 Fuente: Flores e Hidalgo, 2008

*Probabilidad de trabajo con falla  $F(t)$*

Es la probabilidad de que un equipo falle antes de un tiempo  $t$ .

$$F(t) = 1 - R(t)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad \text{Ecuación (37)}$$

Condiciones de la ecuación:

$$t - \gamma > 0$$

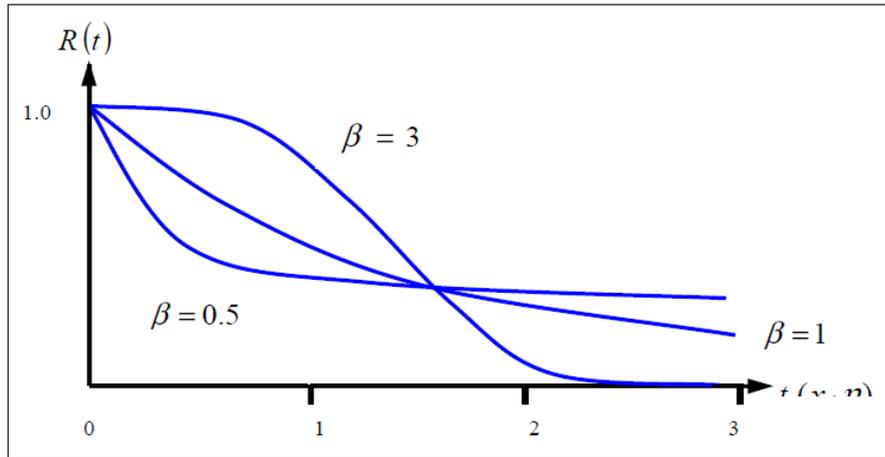
$$\eta \geq 0$$

$$\beta > 0$$

*Probabilidad de trabajo sin falla  $R(t)$*

Es la probabilidad de trabajo sin falla hasta un tiempo  $t$ .

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad \text{Ecuación (38)}$$



**Figura 2-12** Función de confiabilidad para la distribución Weibull

Fuente: Flores e Hidalgo, 2008

*Tiempo medio entre fallas “TMEF” o “MTBF”*

Mediante la ley de Weibull se establece para el cálculo de TMEF, al inverso del parámetro de forma  $\beta$  se aplica la función gamma y este valor se multiplica por la vida característica  $\eta$ , como se muestra en la siguiente ecuación:

$$MTEF = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \text{Ecuación (39)}$$

Para determinar el tiempo medio entre fallas o media, se utiliza la ayuda del anexo A, que muestra el valor de gamma ( $\Gamma$ ), para los valores más comunes de parámetros de forma  $\beta$ .

En matemática, la función Gamma  $\Gamma(z)$  es una función que extiende en concepto de factorial ( $n!$ ) a los números complejos arbitrarios ( $z$ ).

*2.1.8.4 Índices de mantenibilidad (distribución de Weibull)*

Hay mucha similitud entre los gráficos correspondientes a los índices de confiabilidad y mantenibilidad obtenidos mediante la distribución de Weibull. Es así que la función de no confiabilidad es similar a la mantenibilidad.

*Función mantenibilidad*

La mantenibilidad mediante la ley de Weibull se expresa como:

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

Dónde:

M (t): Mantenibilidad

t: tiempo a evaluar

$\beta$ : Parámetro de forma

$\eta$ : Parámetro de escala

#### *Función densidad de reparaciones*

Es la probabilidad de que un ítem que no ha sido reparado en el intervalo de (0, t) se repare en el intervalo (t, t+ $\Delta t$ ).

La función densidad de reparaciones mediante la ley de Weibull se expresa como:

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

Dónde:

m (t): Densidad de reparaciones

$\beta$ : Parámetro de forma

$\eta$ : Parámetro de escala

#### *Tiempo medio entre reparaciones*

Es el valor medio de tiempo esperado para que el equipo sea reparado.

$$MTTR = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1 + \beta}\right)$$

Dónde:

MTTR: Tiempo medio para reparar

$\Gamma$ : Distribución gamma

$\beta$ : Parámetro de forma

$\eta$ : Parámetro de escala

### 2.1.9 Software Fiasoft

La precisión en la predicción de la confiabilidad es fundamental desde el punto de vista económico. La confiabilidad de un equipo puede determinar la productividad operativa del mismo, así como los gastos de reparación y mantenimiento. Por tanto, frente a la complejidad que presenta la aplicación del método analítico para calcular los parámetros de Weibull y el margen de error que puede conllevar el uso del método gráfico, existen varias alternativas de aplicaciones informáticas ya sea comerciales o de libre acceso que facilitan el cálculo de los parámetros característicos de la función Weibull así como los parámetros de medición de confiabilidad como: tasa de falla, probabilidad de trabajo sin falla, tiempo medio entre fallas, etc.

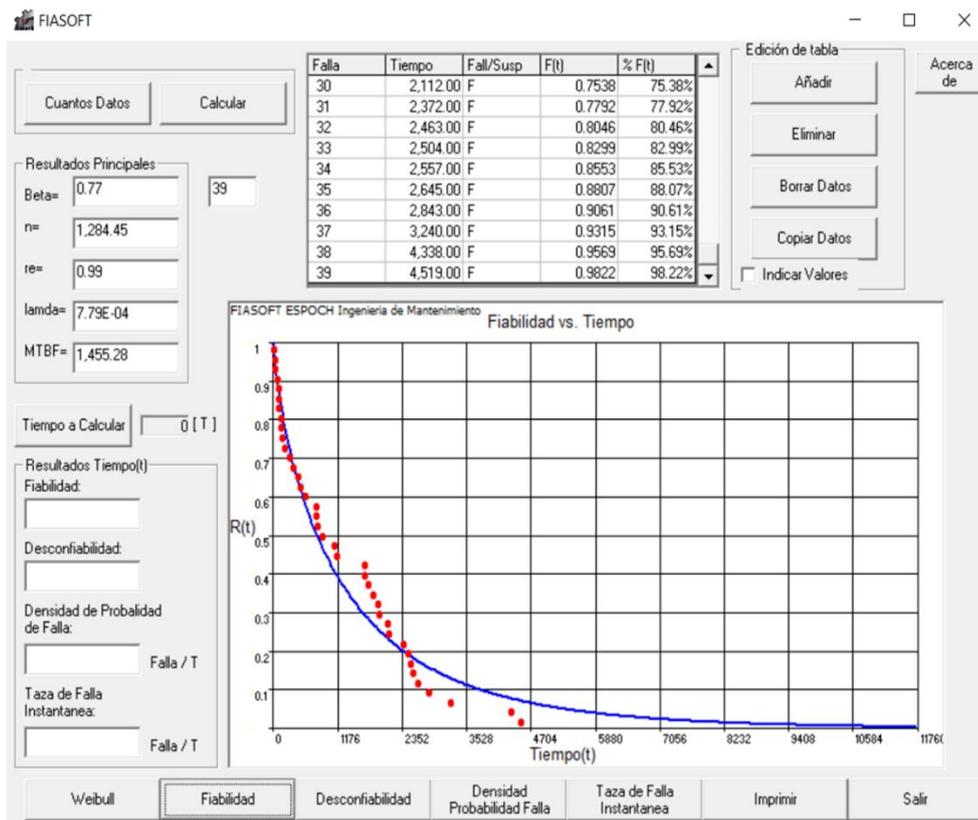
El software FIASOFT 1.0 es una herramienta desarrollada en Visual Basic que permite calcular los parámetros de confiabilidad mediante la distribución de Weibull. La aplicación fue desarrollada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por Cristian Fernando Flores Taipicaña y Luis Enrique Hidalgo Solórzano bajo la tutoría del Ing. Washington Zabala en el año 2008 (Figura. 2-13).



**Figura 2-13** Información de inicio de Fiasoft  
**Fuente:** Fiasoft, 2008

El programa requiere el ingreso de los datos históricos de tiempo de buen funcionamiento o up time de equipos o sistemas para ordenarlos de menor a mayor y procesarlos por el método de la categoría mediana.

Los datos de confiabilidad obtenidos por el software se presentan en un interfaz que permite seleccionar la gráfica del parámetro de confiabilidad que el usuario desea consultar, permite además calcular el valor para los diferentes parámetros ingresando el dato de tiempo (Figura 2-14).



**Figura 2-14** Entorno de trabajo de Fiasoft  
Fuente: Fiasoft, 2008

### 2.1.9.1 Determinación de la probabilidad de falla

Dependiendo del número de datos (n), la probabilidad de falla  $F(i)$  es determinada por el software mediante las siguientes ecuaciones:

Si  $50 > n > 20$  se asignará un rango  $i$  a cada falla, la frecuencia acumulada es calculada con la ecuación (21). Si  $20 > n$ , se aplicará la fórmula de los rangos medianos (22).

#### 2.1.9.2 *Linealización del modelo de Weibull*

Para linealizar el modelo de Weibull, los valores de tiempos de buen funcionamiento ingresados se transforman a logaritmos conforme a la ecuación (34) y los valores de la probabilidad de falla a doble logaritmo del inverso de la diferencia de 1 menos la probabilidad de falla ecuación (33). Los datos obtenidos se linealizan con el método de mínimos cuadrados y se calculan con ellos la pendiente B y la constante C de la ecuación general de la recta.

#### 2.1.9.3 *Coefficiente de correlación*

Este valor de estimación se calcula con la ayuda de las ecuaciones (29) y (30), y con los resultados de las sumatorias que se realizaron en el procedimiento anterior para la linealización.

#### 2.1.9.4 *Determinación del parámetro de forma*

El parámetro de forma ( $\beta$ ), es la pendiente de la ecuación de la recta del modelo estadístico de Weibull, se determina por la ecuación (27), también se lo puede hallar de forma gráfica, colocando sobre el papel de Weibull los datos de tiempo y probabilidad de falla. El sistema Fiasoft utilizado en esta tesis determina el parámetro de forma beta con una aproximación de cuatro decimales en los cálculos y lo redondea a dos decimales para mostrarlo en el programa, lo cual implica un grado muy alto de precisión.

#### 2.1.9.5 *Determinación de la vida característica*

La vida característica  $\eta$ , se determina por medio de la ecuación de la recta, obtenida en la linealización de la cual se tiene los resultados de la pendiente beta y la constante C, se despeja el tiempo de la ecuación de la recta y se evalúa con la probabilidad de falla en 63.2 % que es el valor del estimador, al transformar el valor del coeficiente estimador al eje Y del papel de probabilidad de Weibull, da un valor de (- 0.36236), el resultado es un valor de tiempo que está en formato logarítmico, el cual se debe transformar a un número real.

#### 2.1.9.6 *Determinación de los índices de confiabilidad*

Los índices de confiabilidad para un tiempo (t) se obtienen reemplazando los valores del tiempo a evaluar, el parámetro de forma  $\beta$  y la vida característica  $\eta$  en las ecuaciones correspondientes a cada índice.

Para realizar los cálculos de índices de confiabilidad el programa requiere que se ingrese primero los datos del parámetro de forma beta y la vida característica de forma manual o automática.

#### *2.1.9.7 Determinación de la probabilidad de trabajo sin falla*

Para determinar la probabilidad de trabajo sin falla o confiabilidad, el programa analiza el tiempo que se requiere analizar con ayuda del parámetro de forma y la vida característica en la ecuación de la confiabilidad.

#### *2.1.9.8 Determinación de la probabilidad de falla*

La probabilidad de trabajo con falla o desconfiabilidad, es la diferencia del resultado del índice de confiabilidad, el sistema analiza el resultado mediante la ecuación de la desconfiabilidad (4).

#### *2.1.9.9 Determinación de la tasa instantánea*

La tasa de falla instantánea es la que se analiza un tiempo determinado, este tiempo se introduce de igual manera que en los casos anteriores, y se analiza en su respectiva ecuación, con los datos del parámetro de forma y vida característica.

#### *2.1.9.10 Determinación de la densidad de probabilidad de falla*

Se analiza este problema introduciendo el dato de tiempo, y con los resultados de  $\beta$  y  $\eta$  en la ecuación de la probabilidad de falla, y el resultado es visualizado en formato exponencial.

#### *2.1.9.11 Determinación del tiempo medio entre fallas*

Para determinar el tiempo medio entre fallas, se utiliza la ley de Weibull que multiplica el valor de la vida característica por un coeficiente de gamma, el coeficiente de gamma depende del parámetro de forma beta, estos valores se encuentran en una matriz hasta un valor de beta igual a 8.1, a partir de este valor de beta, la pendiente de la ecuación es muy vertical, por lo que se considera un valor de gamma igual a 1.

El programa encuentra el valor de gamma más adecuado en base al parámetro de forma beta con incrementos de 0.1 de beta y multiplica el valor de gamma por el valor de vida característica para hallar el TMEF.

#### 2.1.9.12 Generación de gráficos

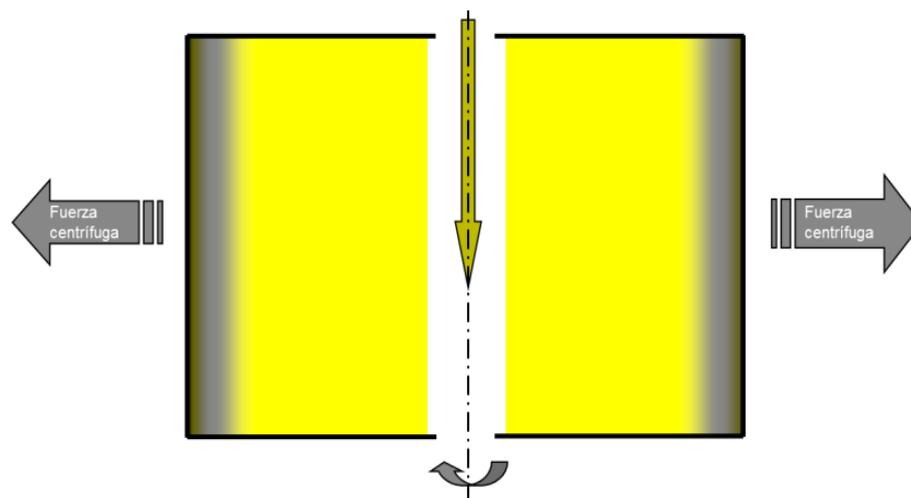
Para generar los gráficos de los índices de confiabilidad se utiliza sus respectivas ecuaciones, se grafican de forma independiente y se muestran en un cuadro de gráfico que está en la pantalla principal del sistema, los ejes para cada tipo de gráfico se auto escalan y se muestran con sus respectivas etiquetas, existe también un cuadro de verificación para establecer si se muestran en el gráfico las coordenadas de los puntos que se está evaluando.

El software también refleja el cálculo y genera los gráficos para las medidas de mantenibilidad utilizando como datos los tiempos de reparación en lugar de los tiempos entre fallas.

### 2.1.10 La separadora centrífuga de aceite Westfalia OSC 15-96-067

#### 2.1.10.1 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de las separadoras radica en la separación de partículas de agua así como también de los sólidos suspendidos en el aceite, mediante la acción de fuerza “CENTRIFUGA”, la misma que hace que esta mezcla (agua, sólidos, y aceite) gire a gran velocidad, logrando que se desplacen las partículas más pesadas hacia la periferia del tambor. (Westfalia, 2010)



**Figura 2-15** Sedimentación forzada en una centrífuga

Fuente: Westfalia basics training, 2010

Para poder efectuar el tratamiento por centrifugación (centrifugado) se requiere que los componentes del producto puedan ser separados por medios mecánicos, tengan diferente densidad y no estén emulsionados.

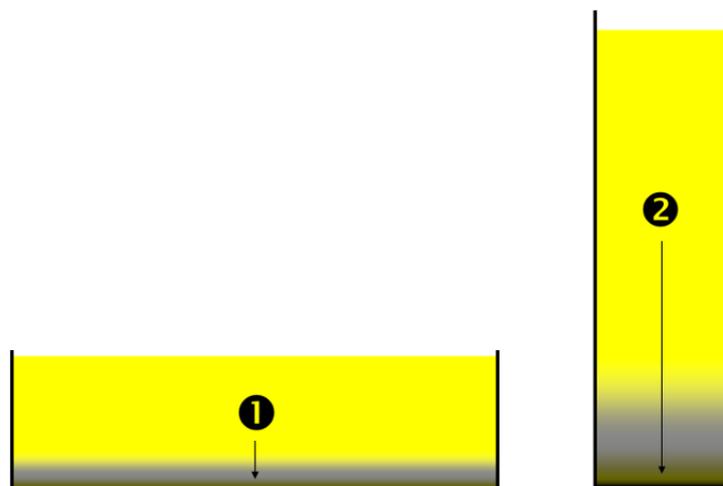
Por acción de estas fuerzas centrífugas, se logra en un tiempo muy breve la separación de los líquidos mezclados y/o la eliminación de los sólidos.

Los componentes de mayor densidad se desplazan hacia la periferia del tambor, mientras que los de menor densidad se dirigen hacia el centro del mismo.

#### *Área de la superficie de sedimentación, trayecto*

La sedimentación es más efectiva a medida que aumenta el área de la superficie de clarificación y disminuye el trayecto de sedimentación que deben recorrer los sólidos.

El diseño del tanque de sedimentación 1 es mucho mejor que el del tanque 2 atendiendo a la eficiencia de clarificación.

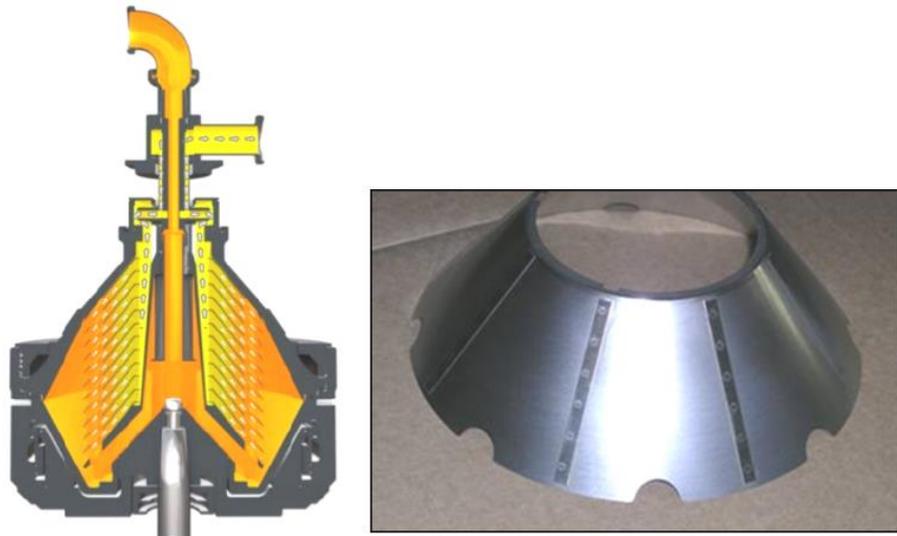


**Figura 2-16** Área y trayecto de sedimentación  
Fuente: Westfalia basics training, 2010

#### *Tambor: juego de platos*

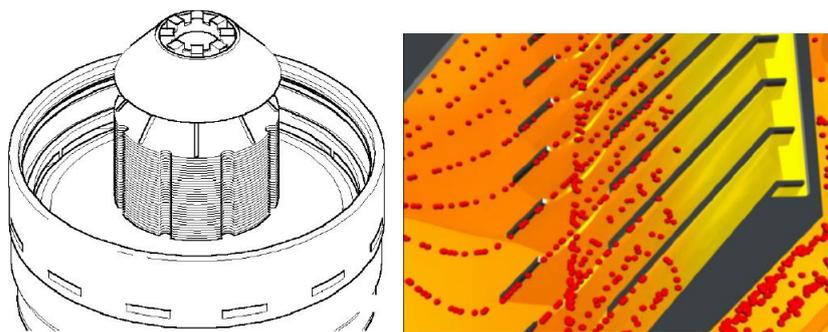
El proceso de separación en una centrifuga se realiza en el interior del denominado “tambor”, en el interior del mismo se aloja el juego de platos que constituye el elemento esencial de la separadora.

El juego de platos actúa como si se tuviera un gran número de tanques de sedimentación de poca altura superpuestos. En la parte superior de cada plato o disco se disponen unos distanciadores. La efectividad de la centrífuga de platos radica en que el trayecto de sedimentación es corto. El aceite sucio llega al juego de platos por el diámetro exterior. El aceite limpio sale por el centro. (Westfalia, 2010)



**Figura 2-17** Conjunto de platos del tambor de separación  
Fuente: Westfalia basics training, 2010

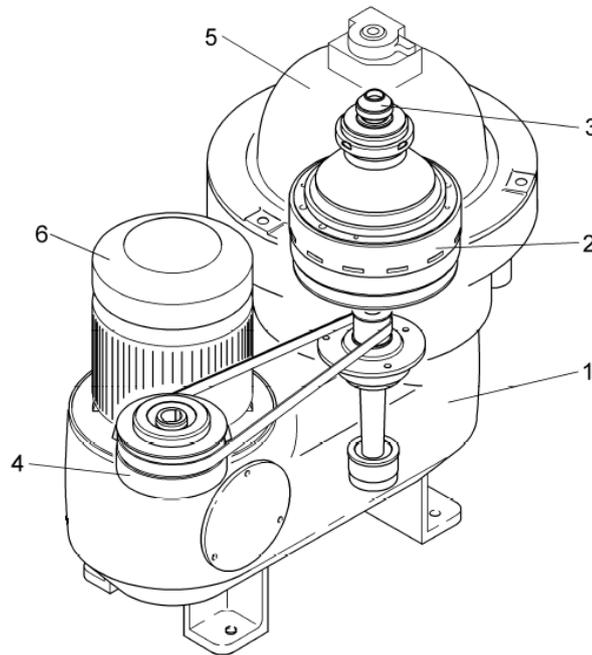
Los sólidos se recogen en la pared superior de cada intersticio y se deslizan hacia el recinto de sólidos del tambor.



**Figura 2-18** Canalización de sólidos hacia la periferia del tambor  
Fuente: Westfalia basics training, 2010

La separadora centrífuga de aceite Westfalia OSC 15-96-067 cuenta con un sistema autodeslodante, el mismo que permite descargar los sólidos acumulados en el recinto de lodos del tambor en intervalos de tiempo establecidos en la programación del sistema de control.

### 2.1.10.2 Componentes principales de la separadora centrífuga



**Figura 2-19** Componentes de la separadora centrífuga

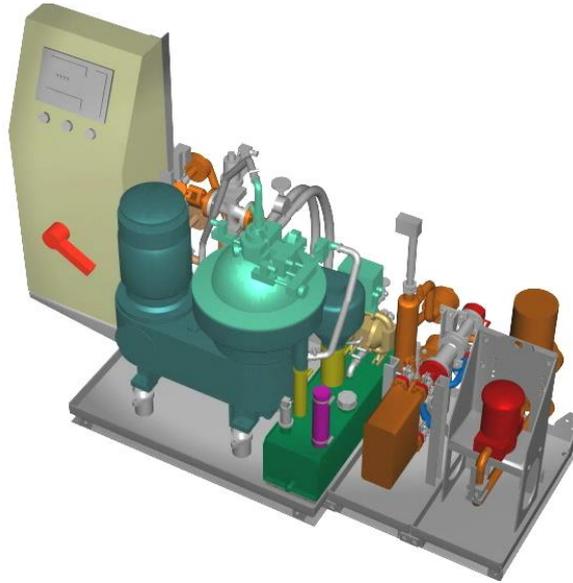
Fuente: Manual Westfalia OSC 15, 2006, p.23

No.	Elemento	Función
1	Bastidor	Contiene las piezas del accionamiento, motor, tambor y capó
2	Tambor	Genera por rotación grandes fuerzas centrífugas
3	Rodete centrípeto	Descarga a presión el líquido separado
4	Accionamiento	Acciona la centrífuga
5	Capó	Cubre el tambor rotativo y acoge las tuberías de proceso
6	Motor	Imprime a la centrífuga la velocidad necesaria

Las partes internas de la separadora centrífuga y sus funciones se pueden apreciar con mayor detalle en el anexo B.

### 2.1.10.3 El módulo de separación de aceite

La separadora centrífuga de aceite Westfalia OSC 15-96-067 está montada sobre la base rígida de un skid de estructura metálica que incluye elementos que cumplen funciones complementarias para el proceso como: pre-calentador eléctrico, bomba de alimentación, tanque de lodos, tablero de sistema de control, etc. (Figura 2-19).



**Figura 2-20** Módulo de separación de aceite  
Fuente: Westfalia basics training, 2010

#### *Condiciones ambientales de la instalación*

- Temperatura ambiente: +10°C hasta +45°C
- Humedad: Sobre el 92%
- Presión atmosférica: 1030 m s. n. m.

#### *Parámetros operativos*

- Temperatura del producto: 95°C
- Límite máximo de temperatura: 110°C
- Límite mínimo de temperatura: 85°C
- Presión de agua de maniobra: 29 psi
- Presión de aire de control: 43.5 psi

#### *Descripción general del proceso*

El controlador lógico programable controla de manera autónoma los procesos que se ejecutan en el módulo de separación de aceite.

El fluido a centrifugar es aspirado a través de un filtro de malla por la bomba de alimentación y pasa a después al calentador de aceite.

Cuando el fluido se ha calentado a la temperatura de centrifugación (95°C), el aceite sucio pasa a la centrífuga a través de la válvula de pistón de tres vías.

Durante la centrifugación en el servicio como purificadora se separa el agua libre del aceite y de los sólidos.

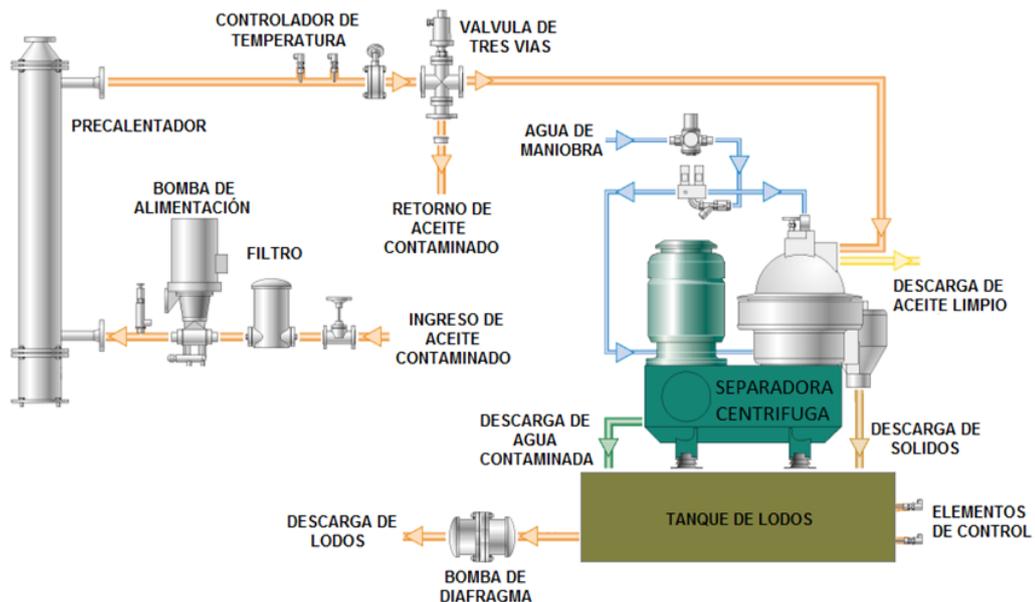
El aceite purificado se descarga a presión mediante el rodete o bomba centrípeta incorporada. El agua separada durante la centrifugación se envía al tanque de lodos.

Los sólidos acumulados en el tambor se descargan de forma automática durante las descargas y se envían al tanque de lodos.

El mecanismo de descarga de lodos del tambor es accionado por el agua de maniobra, el paso de la misma se produce a través de una electroválvula controlada por el PLC.

Los lodos son evacuados automáticamente del tanque de descargas mediante una bomba neumática de diafragma comandada también por el controlador lógico.

#### *Elementos y características del módulo de purificación de aceite*



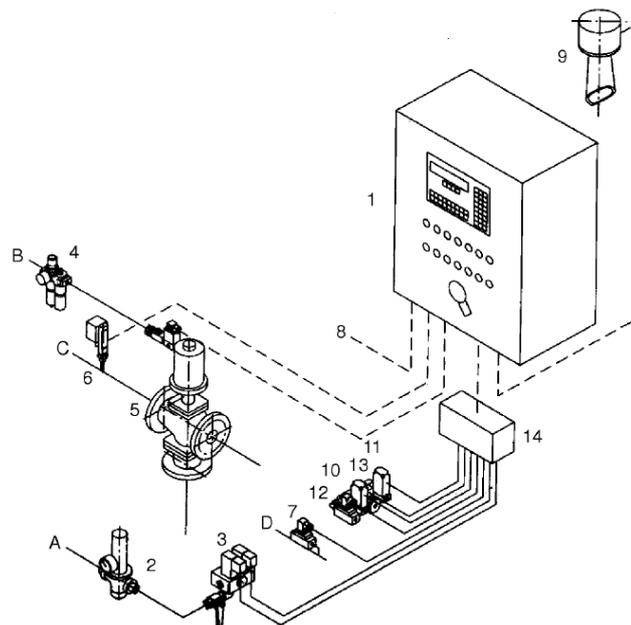
**Figura 2-21** Elementos del módulo de purificación de aceite

Fuente: Manual Westfalia OSC 15, 2006, p.28

- Separadora centrífuga.
  - Marca Westfalia
  - Modelo: OSC 15-96-067
  - Año de fabricación: 1998
  - Velocidad del tambor: 10240 1/min
  - Caudal: 1950 l/h
  - Servicio: Aceite lubricante SAE 30 / SAE 40
  
- Motor eléctrico de la Separadora
  - Marca: Loher
  - Tipo: ANGA-132SB-02M
  - Potencia: 6,2 kW
  
- Bomba de alimentación
  - MARCA: Rickmeier
  - TIPO R35/25 FL-DBI-G, 1,3 kW
  - Capacidad: 2310 l/h
  
- Precalentador eléctrico de aceite
  - Marca: ELWA
  - Tipo: 4636V
  - Potencia: 45 kW
  
- Unidad de control de temperatura para el calentador de aceite
  - Marca: ELWA
  - Modelo: ATHF-2
  - Rango: 0-100°C
  
- Controlador lógico programable
  - Marca: Siemens

- Modelo C7-623
- Bomba de lodos
  - Marca: Wilden
  - Tipo: T2 APPB/BN/BN/ABN/014
  - Accionamiento: Neumático.

*Sistema de control del proceso*



**Figura 2-22** Sistema de control del módulo de purificación de aceite  
 Fuente: Manual Westfalia OSC 15, 2006, p.29

- A. Ingreso de agua
- B. Ingreso de aire comprimido
- C. Entrada de aceite sucio
- D. Salida de aceite limpio

- Sistema de control del proceso
  1. Programador C7-623 y arrancador del motor de la centrifuga, arrancador de la bomba de alimentación y arrancador de la bomba de lodos.
  2. Reductor de presión de agua
  3. Accesorios de alimentación, electroválvula para agua de llenado, maniobra y desplazamiento
  4. Unidad de control de aire comprimido
  5. Válvula neumática de tres vías y electroválvula para aire de maniobra (incorporada en la tubería de aceite sucio de la centrifuga)
  6. Termómetro PT 100 para control de Min. / Max. En la entrada de aceite
  7. Presostato para monitorear la salida de aceite limpio
  8. Conexiones para alimentación de corriente
  9. Luz de alarma
  10. Válvula de descarga de agua
  11. Válvula de recirculación
  12. Presostato - Control de recinto de lodos
  13. Sensor de agua
  14. Caja de bornes.

## 2.2 Marco conceptual

**Activo.-** según Placencia (2015), un activo es algo que tiene valor potencial o real para una organización. El valor puede variar entre diferentes organizaciones y sus partes interesadas y puede ser tangible o intangible, financiero o no financiero.

**CMD.-** Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad.

**Confiabilidad.-** capacidad de un equipo de cumplir con una función bajo condiciones establecidas durante un intervalo de tiempo establecido (ISO 14224, 2004).

**Contexto operacional.-** características intrínsecas de un sistema muy particular aplicable a cada realidad (Sexto, L.F. 2015).

**Datos de falla.-** datos que caracterizan la ocurrencia de un evento de falla (ISO, 2004).

**Disponibilidad.-** según Sexto, L.F. (2015) es la probabilidad de que un activo esté en estado de funcionar (ni averiado ni en revisión) en un tiempo dado.

**Distribución de probabilidad.-** Para una variable aleatoria continua, la distribución de probabilidad es una curva descrita por una fórmula matemática que especifica, por medio de áreas bajo la curva, la probabilidad de que la variable se encuentra dentro un intervalo particular. (Everitt, B., Skronnal, A., 2010)

**Estado de operación.-** Estado durante el cual un ítem desempeña una función requerida (ISO, 2004).

**Facilidades de producción.-** conjunto de equipos o elementos a través de los cuales se realiza un proceso.

**Falla.-** Terminación de la capacidad de un equipo de desempeñar una función requerida (ISO, 2004).

**FMEA.-** (Failure mode and effects analysis) análisis de modos de falla y efectos.

**Frontera o limite.-** Interfaz entre un ítem y sus alrededores (ISO, 2004).

**Función requerida.-** Es la función o combinación de funciones de un equipo que es considerado necesario para proveer un servicio específico (ISO, 2004).

**Gestión del mantenimiento.-** Actividades administrativas y prácticas coordinadas y sistemáticas a través de las cuales una organización articula el mantenimiento de sus activos (Placencia, 2015).

**Ingeniería de confiabilidad.-** según Rivera, J. es la función de la ingeniería la cual provee las herramientas teóricas y prácticas para predecir, diseñar, probar y demostrar la Confiabilidad de partes, componentes y sistemas y asegurar sus requerimientos y optimizar su seguridad, Disponibilidad y niveles de calidad.

**Ítem.-** Cualquier parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que pueda ser considerado de manera individual (ISO, 2004).

**Mantenibilidad.-** es la probabilidad de que, después de la falla, sea reparado en un tiempo dado siguiendo los procedimientos de la empresa. (Sexto, L.F. 2015)

**Mantenimiento.-** Combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, incluidas actividades de supervisión, con el fin de conservar un ítem o restaurarlo a un estado en el que sea capaz de desempeñar una función requerida (ISO, 2004).

**Mantenimiento correctivo.-** es el mantenimiento llevado a cabo después de la ocurrencia de fallas o la intención de poner un elemento en un estado en el que este pueda realizar una función requerida (ISO, 2004).

**Mantenimiento preventivo.-** cualquier actividad de mantenimiento planificada que está diseñada para mejorar la vida útil del equipo y evitar cualquier actividad de mantenimiento no planificado (Wireman, 2003).

**Modo de falla.-** Causa fundamental de una falla.

**Parámetro de escala o característica de vida.-** es cualquier parámetro de una distribución de probabilidad que determina la escala de medición. Por ejemplo, el parámetro  $\sigma^2$  en una distribución normal. (Everitt, B., Skrondal, A., 2010)

**Parámetro de forma.-** es cualquier parámetro de una función de distribución de probabilidad que determina la forma (en un sentido distinto al de escala o posición) de la distribución dentro de una familia de formas asociadas con un tipo específico de variable. Por ejemplo el parámetro  $\gamma$  de una distribución gamma. (Everitt, B., Skrondal, A., 2010)

**Parámetro de posición.-** la noción de valor central o "valor típico" en la distribución de una muestra. (Everitt, B., Skrondal, A., 2010)

**Probabilidad.-** Es la expresión cuantitativa de la posibilidad u oportunidad de que un evento ocurra. (Everitt, A. Skrondal, 2010)

**RCA.-** (Root Cause Analysis) o análisis causa-raíz.

**RCM.-** (Reliability Centered Maintenance) o mantenimiento centrado en la confiabilidad.

**Retrasos logísticos.-** Es aquel tiempo acumulado durante el cual el mantenimiento no puede ser llevado a cabo debido a la necesidad de adquirir recursos. Se excluye cualquier retraso administrativo (ISO, 2004).

**Standby.-** Estado de pausa operativa de un equipo no asociada a fallas ni tareas de mantenimiento.

**Subunidad.-** Conjunto de elementos que cumple una función específica dentro de la frontera del equipo principal con el fin de que el mismo alcance su rendimiento previsto (ISO, 2004).

**Tasa de falla.-** Número de fallas en unidad de tiempo. (Sexto, L.F. 2015)

**Tiempo de buen funcionamiento (up time).-** también llamado tiempo entre averías, es el tiempo entre dos fallas consecutivas, es decir donde el activo cumple cien por ciento con su función.

**Tiempo de mantenimiento activo.-** Es aquella parte del tiempo de mantenimiento durante la cual la acción de mantenimiento es llevada a cabo en un equipo sea de manera automática o manual, excluyéndose los retrasos logísticos (ISO, 2004).

**Tiempo de operación.-** Intervalo de tiempo durante el cual un ítem está en estado de operación (ISO, 2004).

**Tiempo de reparación (down time).-** intervalo de tiempo durante el cual un elemento está en un estado de falla o averiado.

**Tiempo promedio de reparación.-** conocido por sus siglas en inglés MTTR, es el tiempo promedio que toma a un activo retornarlo a condiciones de cumplir con su función después de la ocurrencia de una falla.

**Tiempo promedio entre fallas.-** también conocido por sus siglas en inglés MTBF, El MTBF es el tiempo medio entre cada ocurrencia de una parada específica por falla (o avería) de un proceso, o en otras palabras, la inversa de la frecuencia con que ocurre cada parada.

**Vida Útil.-** es la duración estimada que un objeto puede tener, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado. Normalmente se calcula en horas de duración.

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Método de investigación

Para la realización de la presente investigación se utiliza el método inductivo deductivo. La inducción y la deducción se complementan entre sí en una investigación.

En este estudio, el método inductivo se aplicará al analizar hechos particulares como la ocurrencia de fallas y reparaciones de la separadora de aceite a fin de obtener índices de aplicación generalizada en la gestión de mantenimiento como la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

El método deductivo se aplica en esta investigación al tomar los postulados generales y teorías sobre la metodología CMD y aplicarlos al caso particular de la separadora centrífuga de aceite con el fin de establecer estrategias de optimización del mantenimiento.

#### 3.2 Procedimientos

A continuación se detallan los instrumentos utilizados en este estudio para el ordenamiento y análisis de datos.

##### 3.2.1 *Clasificación del equipo*

Es importante que se establezca claramente los atributos del equipo en estudio porque de ello depende el tipo de datos necesarios para el análisis, con este fin se recurre a la norma ISO 14224, la misma presenta los lineamientos para clasificar los equipos de industrias del sector del petróleo considerando principalmente tres aspectos: Ubicación, atributos y operación.

Las principales categorías de datos para equipos, fallas y datos de mantenimiento son:

- Datos del equipo o unidad (Datos de inventario)
- Datos de clasificación. Por ejemplo planta, ubicación, sistema.

- Atributos del equipo como datos de fabricación y características de diseño.
- Datos de operación como modo de operación, energía utilizada, ambiente.

### ***3.2.2 División del equipo en subunidades***

Debido a la inexistencia de normativa referente a la subdivisión de separadoras centrífugas en ítems mantenibles, se toma como referencia el esquema de la norma ISO 14224 para la subdivisión de equipos como bombas, compresores o generadores eléctricos (ISO 14224, 2004, A2). Con el fin de asignar las fallas de la separadora de aceite a una cantidad definida de componentes se realiza una agrupación de elementos en seis subsistemas del equipo.

### ***3.2.3 Modelo de medición de CMD***

La metodología utilizada toma como referencia los conceptos y procedimientos ampliamente reconocidos que han sido propuestos por varios autores y que han sido adoptados en normativa vigente como el estándar ISO 14224. En el diagrama de la figura 3-1 se presenta una síntesis de la metodología mencionada.

### ***3.2.4 Registro de fallas y mantenimiento de la unidad***

Algunos datos relacionados con la confiabilidad y mantenimiento tanto programados como no programados de la separadora centrífuga de aceite han sido registrados en los reportes diarios de operación desde junio de 1999, también existe archivada importante información en los reportes técnicos elaborados por el personal de mantenimiento. Debido a que la información mencionada no ha sido recolectada de manera definida y sistemática, la recuperación, organización y tabulación de estos datos representa parte del trabajo realizado en el presente proyecto.

Los datos de los fallas y mantenimiento de la separadora centrífuga de aceite se extraen de la bitácora de operación y mantenimiento de la planta de generación. Para ello se revisan los documentos en formato digital que el operador ha elaborado día a día y se rescata la información relevante usando como referencia la tabla 2-1 donde se definen los componentes de la línea de tiempo de operación y mantenimiento de un equipo. Para el periodo comprendido entre junio de 1999 hasta diciembre de 2015 se registran: evento, fecha, horas de operación, tiempo de buen funcionamiento, tiempo total de mantenimiento correctivo, tiempo total de mantenimiento preventivo.

### **3.2.5 Encuesta al personal de operación y mantenimiento**

Con el fin de obtener datos que no han sido registrados en ningún documento pero que están presentes en el conocimiento de los técnicos de mantenimiento y operación se elabora una encuesta por medio de un formato impreso que cada entrevistado llena a mano, en la misma se incluyen tres preguntas abiertas orientadas a la obtención de los tiempos de mantenimiento activo correctivo y de mantenimiento activo preventivo requeridos en la intervención de los diferentes subsistemas del módulo de separación. Las respuestas posteriormente se tabulan y se obtienen los promedios.

### **3.2.6 Cálculo de parámetros de confiabilidad y mantenibilidad en FIASOFT**

Se utiliza el software FIASOFT para el cálculo de los parámetros de confiabilidad y mantenibilidad mediante la distribución de Weibull.

La función Weibull tiene la ventaja de simular el comportamiento de la función de no confiabilidad o de mantenibilidad indiferente de la fase de la curva de Davies en la que se encuentre la tasa de fallas (Mora, 2007).

Para el caso de la confiabilidad, con la ayuda del software se obtienen los siguientes parámetros:

- Probabilidad de trabajo sin falla o confiabilidad  $R(t)$
- Función de probabilidad de falla o desconfiabilidad  $F(t)$
- Función de densidad de probabilidad de falla  $f(t)$
- Función de tasa de fallas  $\lambda(t)$
- Tiempo medio entre fallas “TMEF o MTBF”

Presionando el botón “Cuántos datos” en el interfaz del software se puede ingresar la cantidad de fallas a considerar y automáticamente se generan las filas necesarias en la tabla.

Los datos de tiempos de buen funcionamiento se ingresan en la columna “Tiempo” de la tabla que se despliega en la parte superior del interfaz de trabajo de FIASOFT.

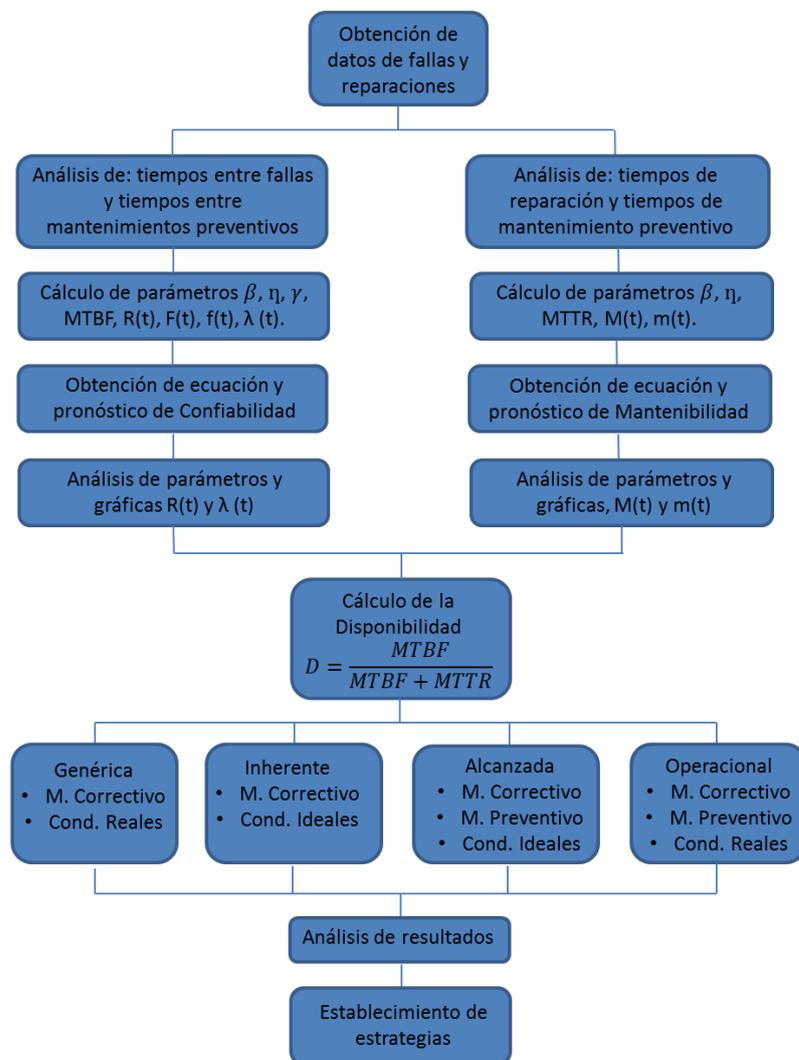
Debido a que los datos a procesar provienen todos de eventos de fallas, en la columna “Fall/Susp” se ingresa para cada fila la letra f.

Al presionar el botón “calcular”, se muestran los resultados del cálculo de los diferentes parámetros de confiabilidad.

Además del cálculo de parámetros, otra de las bondades del software es la generación de los gráficos de la linealización de la función en el papel de Weibull, confiabilidad en función del tiempo, desconfiabilidad, densidad de probabilidad de falla, y tasa de falla instantánea.

Para el cálculo de parámetros de mantenibilidad se procede de manera similar, pero ingresando los datos de tiempos de reparación. Se obtienen de esta manera los gráficos de la linealización de la función en el papel de Weibull, mantenibilidad en función del tiempo y no mantenibilidad.

Los gráficos y valores de parámetros de confiabilidad y mantenibilidad obtenidos se utilizan para el análisis y cálculo de la disponibilidad genérica, intrínseca, alcanzada y operacional.



**Figura 3-1 Modelo de medición del CMD**

Fuente: Mora, 2007, p. 81

### **3.2.7 Diagrama de Pareto**

Es importante gestionar las fallas en la medida de su frecuencia de ocurrencia, para ello es necesario identificar los sistemas que más fallas presentan.

Como herramienta de análisis se utiliza el diagrama de Pareto. El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas o fallas sin importancia frente a unos pocos muy importantes. Mediante la gráfica se colocan los "pocas fallas que son vitales" a la izquierda y los "muchas fallas triviales" a la derecha (Ankunda, 2011).

### **3.3 Métodos de recolección de la información**

Se emplea una computadora portátil con ambiente de Windows 10. Los textos se procesan con Word 2013. La información de fallas y mantenimiento se ordena y tabula en hojas de cálculo de Microsoft Excel. Los cálculos de los índices de confiabilidad y mantenibilidad se hacen mediante el software FIASOFT, propiedad de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

### **3.4 Aspectos éticos**

Los datos de fallas y mantenimiento utilizados en el presente análisis son de propiedad de la empresa Agip Oil Ecuador. No se utiliza o publica información sensible de la empresa.

Se respeta el criterio del personal de mantenimiento y operación de la planta de generación con respecto a los datos obtenidos mediante entrevistas.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Clasificación del equipo según el estándar ISO 14224

Conforme a la norma ISO 14224-sección ocho referente a la taxonomía de clasificación de equipos industriales se presenta en la tabla 4-1 la clasificación de la separadora centrífuga de aceite A de la planta de generación de la empresa Agip Oil Ecuador según atributos de utilización, ubicación, equipo y operación.

**Tabla 4-1** Clasificación de la separadora centrífuga de aceite según sus atributos

Categoría	Datos	Especificación
Atributos de uso y ubicación	Industria	Petróleo
	Categoría de negocio	Upstream (Exploración y producción)
	Categoría de la instalación	Producción de petróleo
	Código o nombre de la instalación	CPF (Central Process Facilities) - Proyecto Villano AOE.
	Ubicación geográfica	Ecuador, Pastaza
	Categoría de la unidad o planta	Planta de generación eléctrica
	Nombre o código de la unidad o planta	Planta de generación Wartsila Vasa 16V32
	Sección - sistema	Sistema de lubricación
	Categoría de operación	Automático
Atributos del equipo	Clase de equipo	Separador
	Tipo de equipo	Centrifugo
	Descripción del equipo	Separadora de aceite
	Numero de serie	9000-741
	Fabricante	Westfalia
	Modelo	OSC 15-96-067
	Capacidad	1950 l/h
	Potencia	6,2 kW
	Velocidad	10240 RPM
	Presión de descarga	1.5 bar
Operación (uso normal)	Estado normal de operación	En servicio
	Fecha de la puesta en marcha	1999.05.13
	Fecha de inicio del servicio actual.	1999.05.13
	Tiempo de operación (calculado)	116535 h

**Elaborado por:** Fredy Rodríguez

#### 4.2 Definición de subunidades del equipo

En el diagrama de bloques de la figura 4-1 se identifican los sistemas del módulo de separación de aceite que se consideran a fin de sistematizar y organizar la recolección de datos de fallas y mantenimiento. En la tabla 4-2 se detallan los elementos que conforman cada subsistema.



**Figura 4-1** Sistemas del módulo de separación de aceite

Elaborado por: Fredy Rodríguez

**Tabla 4-2** Elementos de los subsistemas del módulo de separación de aceite.

Sistema	Elemento
<b>Sistema de alimentación de aceite</b>	Motor eléctrico de bomba de alimentación
	Bomba de alimentación
	Acople
<b>Sistema de calentamiento</b>	Resistencias eléctricas
	Controlador de temperatura
<b>Sistema de accionamiento</b>	Motor eléctrico
	Embrague
	Banda
	Rodamientos
	Colector de aceite lubricante
<b>Tambor</b>	Juego de platos
	Rodete centrípeto
	Empaquetadura
	Sistema de cierre – apertura
<b>Sistema de control automático</b>	Controlador lógico programable
	Relé de control
<b>Sistema de evacuación de lodos</b>	Bomba de lodos
	Switches de nivel

Elaborado por: Fredy Rodríguez

### 4.3 Determinación de los datos de fallas y mantenimiento a recolectar

En la tabla 4-3 se establecen los datos de mantenimiento y confiabilidad a considerar para el presente trabajo a nivel de equipo y subunidad. La selección se realiza tomando como referencia los datos sugeridos en la tabla 3 del standard ISO 14224, 2004.

**Tabla 4-3** Datos de fallas y mantenimiento considerados para el análisis

Datos de Confiabilidad y Mantenimiento a recolectar	Nivel de jerarquía	
	Equipo	Subunidad
Numero de fallo	X	
Impacto del fallo en el equipo	X	
Impacto del fallo en las operaciones	X	
Modo de fallo		X
Subunidad en fallo		X
Up time	X	
Down time	X	
Tiempo de mantenimiento activo	X	

Elaborado por: Fredy Rodríguez

#### 4.4 Obtención del registro histórico de operación y mantenimiento del equipo

En el anexo C se presenta un registro histórico de fallas e intervenciones de mantenimiento correctivo y preventivo de la separadora de aceite desde que el equipo inicia su operación en junio de 1999 hasta diciembre del año 2015. De la bitácora de operación y mantenimiento se obtienen datos como número de evento, fecha de ocurrencia, horas de operación, tiempo de buen funcionamiento, tiempo total de mantenimiento correctivo, tiempo total de mantenimiento preventivo, y tiempo de stand by.

El tiempo activo de mantenimiento correctivo y el tiempo activo de mantenimiento preventivo es un promedio de los datos obtenidos en la encuesta realizada al personal técnico de operación y mantenimiento del equipo (anexo D). En la tabla 4-4 se resumen los resultados.

**Tabla 4-4** Tiempos de mantenimiento activo obtenidos en encuesta

Sistema en fallo	Tiempo de reparación (h)						
	Encuesta 1	Encuesta 2	Encuesta 3	Encuesta 4	Encuesta 5	Encuesta 6	Promedio
Sistema de alimentación de aceite	5	4	7	2	2	3	4
Sistema de calentamiento	8	10	5	8	6	8	8
Sistema de accionamiento	16	8	11	8	10	8	10
Tambor	20	10	4	4	4	4	8
Sistema de control automático	12	10	6	3	6	3	7
Sistema de evacuación de lodos	8	4	5	2	6	2	5
Mantenimiento preventivo de 500h	8	12	11	6	10	11	10

Elaborado por: Fredy Rodríguez

##### 4.4.1. Datos de fallas y mantenimiento correctivo

En el anexo E se presenta el listado de fallas y tiempo de mantenimiento correctivo extraído del registro histórico de operación y mantenimiento del equipo en el periodo comprendido desde

enero de 2009 hasta diciembre del año 2015. En el listado se detallan datos obtenidos de la bitácora de operación y mantenimiento como: número de evento, fecha de ocurrencia, horas de operación, descripción de la falla, up time y down time.

El impacto de la falla en el equipo y en la operación se deduce del contexto operacional del equipo. El modo de falla y subunidad en falla o estado de avería se obtienen de los reportes de mantenimiento del equipo elaborados por los técnicos de la planta de generación.

#### **4.4.2. Datos de intervenciones de mantenimiento planificado o preventivo**

En el anexo F se presenta el listado de intervenciones de mantenimiento planificado extraído del registro histórico de operación y mantenimiento del equipo en el periodo comprendido desde enero de 2009 hasta diciembre del año 2015. En el listado se detallan datos obtenidos de la bitácora de operación y mantenimiento como: número de evento, fecha de ocurrencia, horas de operación. El tiempo entre mantenimientos planificados se calcula a partir del número de horas de operación registrado en la bitácora de operación para cada intervención de mantenimiento. El tiempo logístico de mantenimiento planificado se calcula por la diferencia entre tiempo total y el tiempo activo de mantenimiento planificado. El tiempo activo de mantenimiento planificado se obtiene de encuesta realizada al personal de mantenimiento.

#### **4.5 Cálculo de los índices CMD**

Para el cálculo de los índices CMD, se considera la metodología detallada en el diagrama de la figura 3-1 presentada en el diseño de la investigación. En inicio, del listado de fallas y tiempo de mantenimiento correctivo del anexo E se extrae la tabla 4-5 donde se detallan los tiempos de buen funcionamiento y reparaciones asociados a las fallas.

**Tabla 4-5** Historial de fallas de la separadora de aceite

Número de fallo	*Fecha	Subunidad en fallo	Tiempo de buen funcionamiento (h)	Tiempo de reparación (h)
1	2009/04/09	Sistema de evacuación de lodos	2688	96
2	2009/07/04	Sistema de evacuación de lodos	1962	12
3	2009/07/19	Sistema de accionamiento	359	1
4	2009/10/30	Tambor	2390	2
5	2010/02/19	Tambor	2482	14
6	2010/09/07	Tambor	4536	72
7	2010/10/13	Sistema de alimentación de aceite	796	20
8	2010/12/03	Tambor	1762	2
9	2011/04/21	Tambor	2696	16
10	2011/11/07	Tambor	4620	144
11	2011/11/17	Tambor	96	120
12	2011/12/06	Sistema de accionamiento	144	264
13	2012/04/17	Sistema de calentamiento	2928	90
14	2012/06/14	Sistema de accionamiento	1302	48
15	2012/08/28	Tambor	1704	288
16	2012/09/18	Sistema de accionamiento	216	24
17	2012/11/28	Sistema de accionamiento	1680	96
18	2012/12/03	Tambor	24	96
19	2013/02/05	Tambor	792	24
20	2013/02/16	Tambor	96	48
21	2013/02/28	Tambor	168	84
22	2013/03/05	Sistema de alimentación de aceite	36	120
23	2013/03/13	Tambor	72	96
24	2013/04/10	Sistema de accionamiento	504	24
25	2013/05/29	Tambor	1152	192
26	2013/07/06	Tambor	624	48
27	2013/07/12	Tambor	96	96
28	2013/11/10	Sistema de evacuación de lodos	2304	48
29	2014/02/03	Sistema de accionamiento	1992	24
30	2014/07/08	Tambor	3432	48
31	2014/10/13	Tambor	2280	48
32	2014/10/21	Tambor	144	24
33	2014/11/13	Tambor	528	36
34	2014/11/28	Sistema de alimentación de aceite	324	24
35	2015/01/03	Tambor	840	120
36	2015/05/09	Tambor	2304	156
37	2015/05/15	Sistema de accionamiento	12	12
38	2015/06/24	Tambor	948	60
39	2015/10/27	Tambor	2664	108

Elaborado por: Fredy Rodríguez

**4.5.1 Cálculo de los parámetros de medición de la confiabilidad**

Los 39 datos de tiempos de buen funcionamiento de la tabla 4-5 se procesan en el software especializado en confiabilidad FIASOFT que ordena los datos, calcula y grafica los parámetros de medición de confiabilidad para la separadora de aceite mediante la distribución de Weibull.

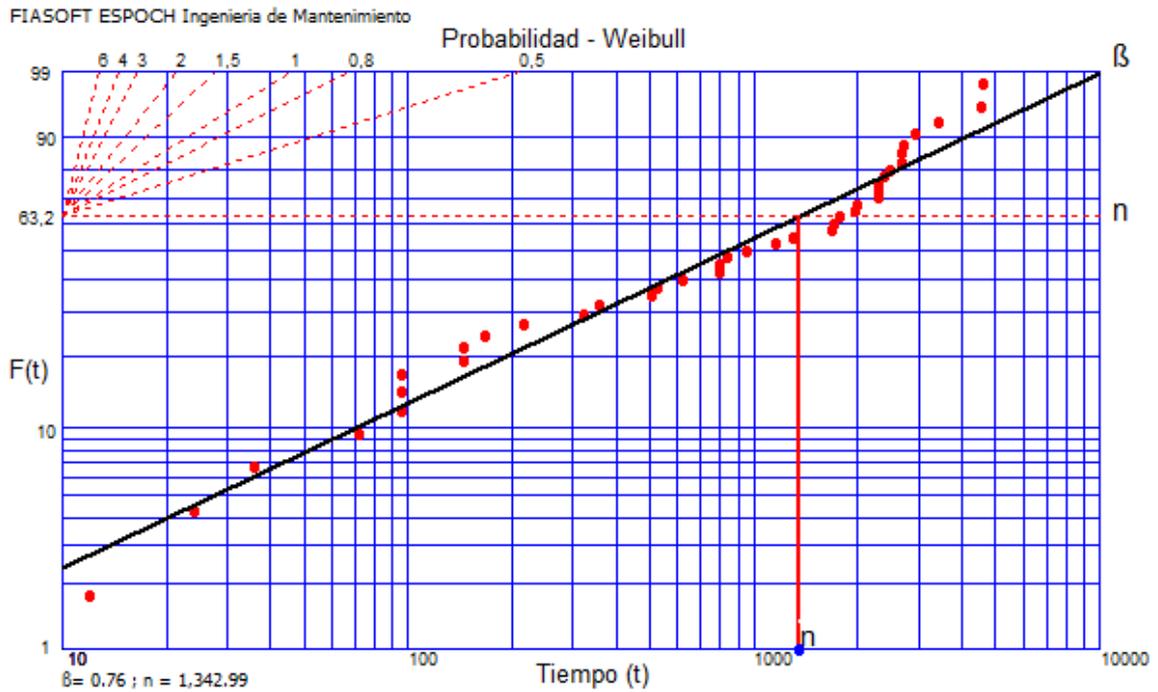
**Tabla 4-6** Ordenamiento de datos del historial de fallas

Número de fallo	*Fecha	Tiempo de buen funcionamiento (h)	Tiempo de buen funcionamiento ordenado de menor a mayor (h)	F(t)	% F(t)
1	2009/04/09	2688	12	0.0178	1.78%
2	2009/07/04	1962	24	0.0431	4.31%
3	2009/07/19	359	36	0.0685	6.85%
4	2009/10/30	2390	72	0.0939	9.39%
5	2010/02/19	2482	96	0.1193	11.93%
6	2010/09/07	4536	96	0.1447	14.47%
7	2010/10/13	796	96	0.1701	17.01%
8	2010/12/03	1762	144	0.1954	19.54%
9	2011/04/21	2696	144	0.2208	22.08%
10	2011/11/07	4620	168	0.2462	24.62%
11	2011/11/17	96	216	0.2716	27.16%
12	2011/12/06	144	324	0.297	29.70%
13	2012/04/17	2928	359	0.3223	32.23%
14	2012/06/14	1302	504	0.3477	34.77%
15	2012/08/28	1704	528	0.3731	37.31%
16	2012/09/18	216	624	0.3985	39.85%
17	2012/11/28	1680	792	0.4239	42.39%
18	2012/12/03	24	796	0.4492	44.92%
19	2013/02/05	792	840	0.4746	47.46%
20	2013/02/16	96	948	0.5	50.00%
21	2013/02/28	168	1152	0.5254	52.54%
22	2013/03/05	36	1302	0.5508	55.08%
23	2013/03/13	72	1680	0.5761	57.61%
24	2013/04/10	504	1704	0.6015	60.15%
25	2013/05/29	1152	1762	0.6269	62.69%
26	2013/07/06	624	1962	0.6523	65.23%
27	2013/07/12	96	1992	0.6777	67.77%
28	2013/11/10	2304	2280	0.703	70.30%
29	2014/02/03	1992	2304	0.7284	72.84%
30	2014/07/08	3432	2304	0.7538	75.38%
31	2014/10/13	2280	2390	0.7792	77.92%
32	2014/10/21	144	2482	0.8046	80.46%
33	2014/11/13	528	2664	0.8299	82.99%
34	2014/11/28	324	2688	0.8553	85.53%
35	2015/01/03	840	2696	0.8807	88.07%
36	2015/05/09	2304	2928	0.9061	90.61%
37	2015/05/15	12	3432	0.9315	93.15%
38	2015/06/24	948	4536	0.9569	95.69%
39	2015/10/27	2664	4620	0.9822	98.22%

Elaborado por: Fredy Rodríguez

En la tabla 4-6 además de mostrarse los tiempos de buen funcionamiento ordenados de menor a mayor, se incluye F(t) que son los valores medios clasificados por medio de la fórmula de frecuencia acumulada, ecuación (21). F(t)% corresponde a los valores medios clasificados expresados en porcentaje.

## Gráfico en papel de Weibull (confiabilidad)



**Figura 4-2** Datos de fallas de la separadora de aceite en papel de probabilidad de Weibull

Elaborado por: Fredy Rodríguez

La representación de estos puntos en el gráfico de Weibull genera aproximadamente una recta. Se muestra el valor exacto del parámetro  $\beta$  y el de vida característica  $\eta$ .

**Parámetro de forma  $\beta$ .**- Del gráfico del papel de Weibull se obtiene la pendiente de la recta que es el parámetro de forma  $\beta = 0.76$ .

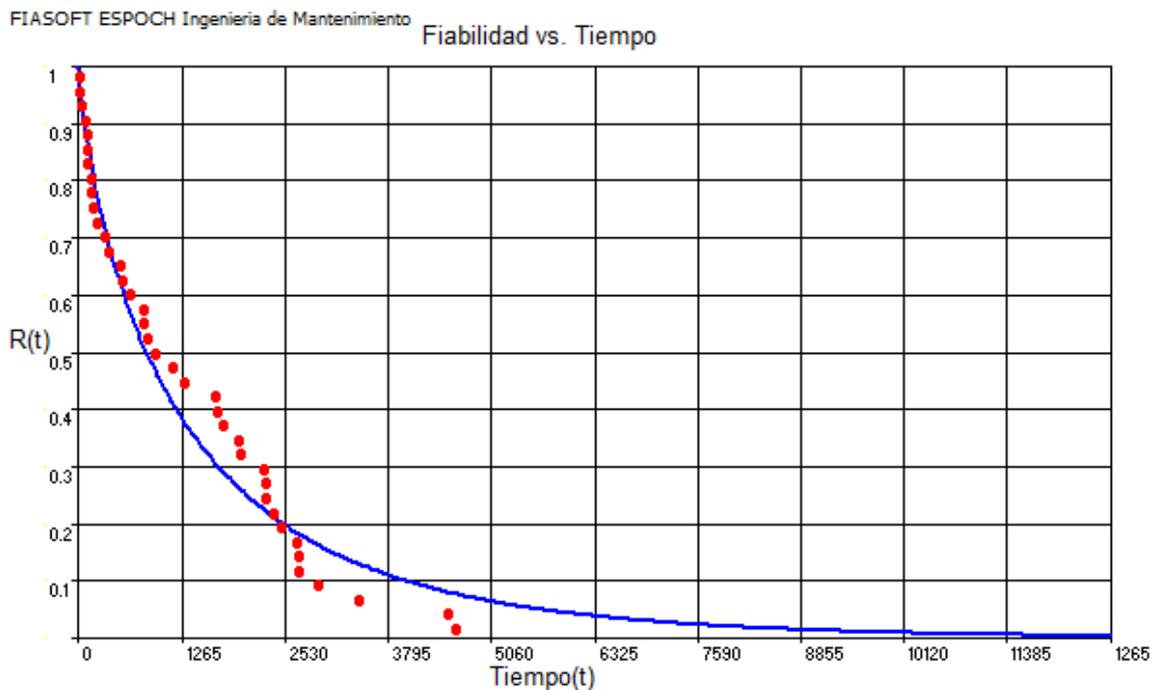
El parámetro de forma  $\beta$  de 0.76 para la separadora de aceite indica que el equipo se encuentra dentro de la fase I de mortalidad infantil de la curva de Davies. Para este caso particular se aclara que este valor no se debe a que se trate de un equipo nuevo sino a que se han implementado acciones dentro de los procesos de mantenimiento que están reduciendo la ocurrencia de fallas.

Se puede afirmar que las acciones implementadas con respecto a los insumos y repuestos utilizados en mantenimiento han sido acertadas debido a que la tasa de fallas está en disminución. Al estar en la fase I de curva de la bañera se puede asumir que gran parte de las fallas se pueden controlar o disminuir hasta desplazarse a la fase II de la curva de Davies donde la tasa de fallas es constante.

**Vida característica  $\eta$ .**- El valor de  $\eta$  es igual a 1342.99 horas, que es el valor de la abscisa en el punto donde la recta trazada con los datos corta a la horizontal para  $F(t) = 63,2\%$ . El parámetro de vida característica  $\eta$  representa el tiempo probable de funcionamiento del sistema antes de que aparezca la falla, y constituye una referencia para determinar la frecuencia de mantenimiento.

### Confiabilidad

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{1342.99}\right)^{0.76}\right]$$

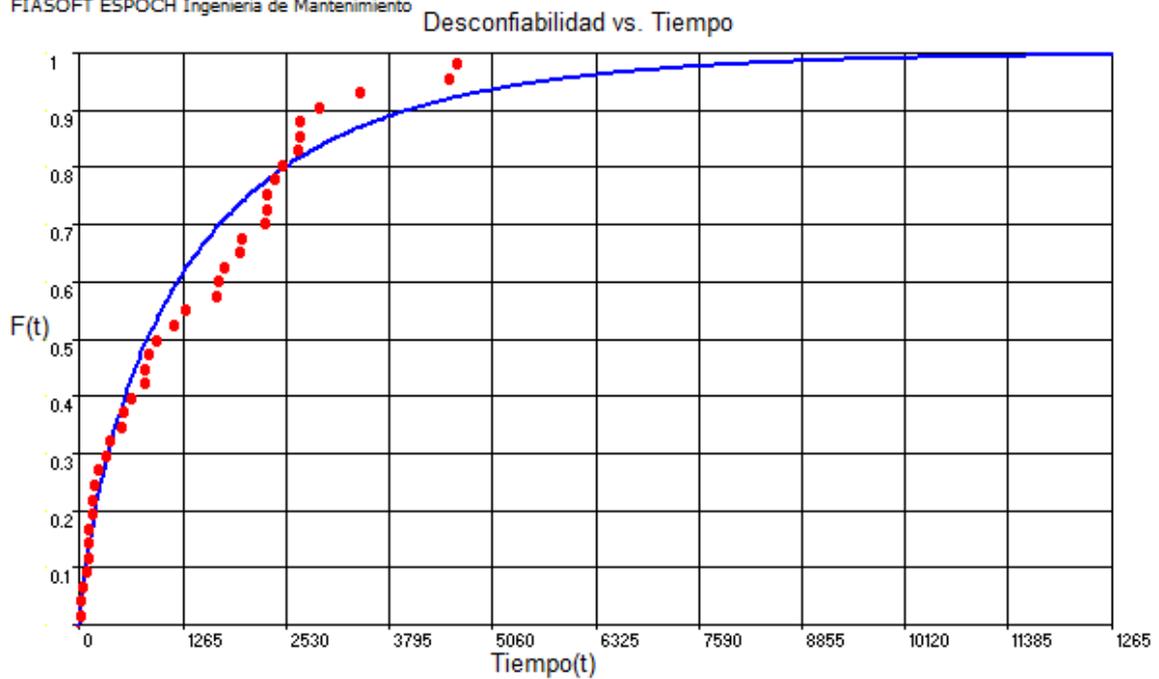


**Figura 4-3** Confiabilidad vs. tiempo (separadora de aceite)

Elaborado por: Fredy Rodríguez

### Desconfiabilidad

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{1342.99}\right)^{0.76}\right]$$



**Figura 4-4** Desconfiabilidad vs. tiempo (separadora de aceite)

Elaborado por: Fredy Rodríguez

#### Tiempo medio entre fallas

$$E(t) = \text{MTBF} = \eta * \gamma * \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$\text{MTBF} = 1342.99 * \gamma * \left(1 + \frac{1}{0.76}\right)$$

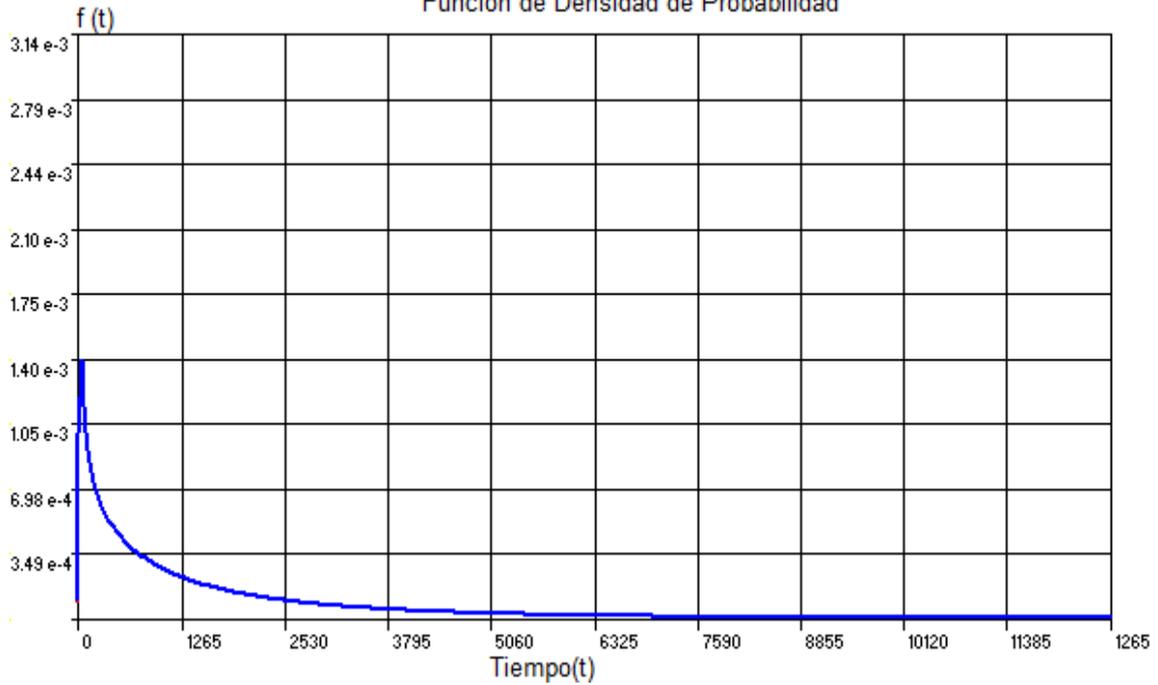
$$\text{MTBF} = 1342.99 * \gamma * \left(1 + \frac{1}{0.76}\right)$$

$$\text{MTBF} = 1342.99 * 1.133 = 1521.61$$

El MTBF de la separadora de aceite es de 1521.61h y representa el tiempo medio probable de buen funcionamiento del sistema.

#### Densidad de probabilidad de fallas

$$f(t) = \frac{0.76}{1342.99} * \left(\frac{t}{1342.99}\right)^{0.76} * \text{Exp} \left[-\frac{t}{1342.99}\right]^{0.76}$$



**Figura 4-5** Función de densidad de probabilidad de falla (separadora de aceite)

Elaborado por: Fredy Rodríguez

#### Tasa de falla característica $\lambda$

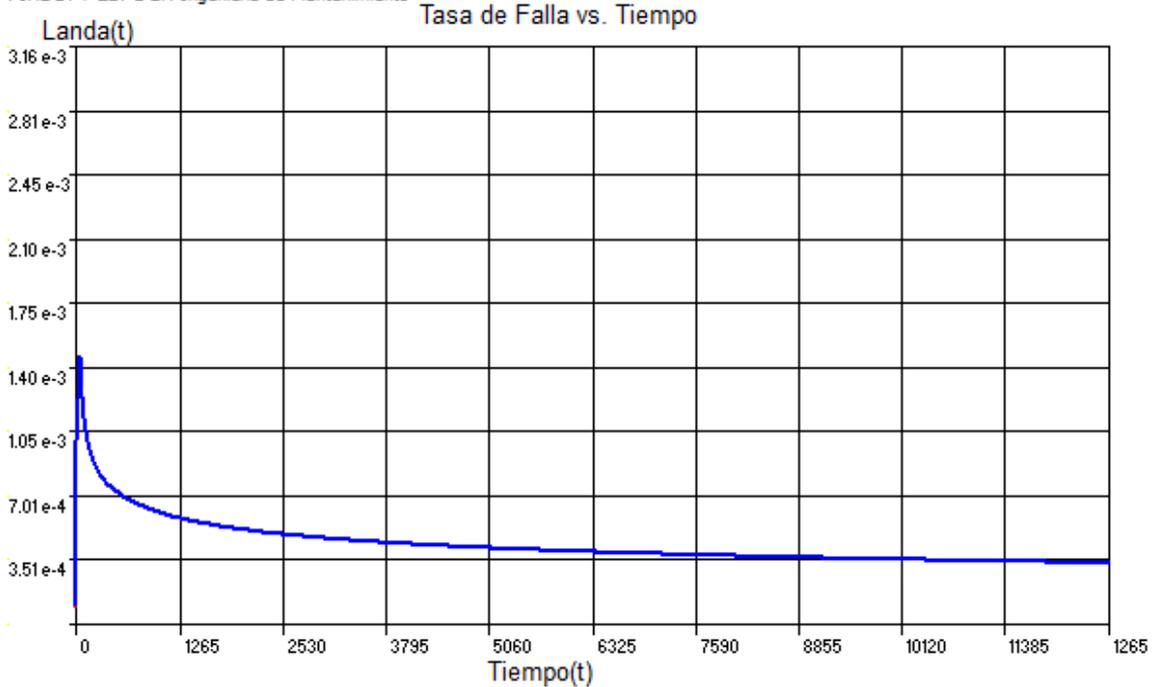
La tasa de falla característica es el inverso de la Vida característica  $\eta$

$$\lambda = \frac{1}{\eta}$$

$$\lambda = \frac{1}{1342.99} = 7.45 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

#### Tasa de falla instantánea $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{0.76}{1342.99} * \left( \frac{t}{0.76} \right)^{0.76-1}$$



**Figura 4-6** Tasa de falla en función del tiempo (separadora de aceite)

Elaborado por: Fredy Rodríguez

### Determinación de los índices de confiabilidad para un tiempo $t$

Se calcula los índices de fiabilidad ingresando para este caso el tiempo  $t$  en horas al presionar el botón “tiempo a calcular”. El software “FIASOFT”, utiliza las ecuaciones de los índices de fiabilidad y los valores obtenidos del parámetro de forma y vida característica para obtener los resultados.

Los resultados se presentan en el programa de forma independiente en un cuadro de texto como se muestra a continuación en la figura 4-7 para un tiempo de 500h.

Tiempo a Calcular:	500 [ T ]
Resultados Tiempo(t)	
Fiabilidad:	62.38%
Desconfiabilidad:	37.62%
Densidad de Probabilidad de Falla:	4.47E-04    Falla / T
Taza de Falla Instantanea:	7.17E-04    Falla / T

**Figura 4-7** Cuadro de resultados de índices de confiabilidad

Elaborado por: Fredy Rodríguez

En la tabla 4-7 se muestran los resultados de los índices de confiabilidad calculados para diferentes valores de (t) entre 25 y 1000 horas.

**Tabla 4-7** Índices de confiabilidad calculados para diferentes valores de tiempo

T (h)	Confiabilidad (%) $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{1342.99}\right)^{0.76}\right]$	Desconfiabilidad (%) $F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{1342.99}\right)^{0.76}\right]$	Densidad de probabilidad de falla (Fallas/h) $f(t) = \frac{0.76}{1342.99} * \left(\frac{t}{1342.99}\right)^{0.76} * \text{Exp}\left[-\frac{t}{1342.99}\right]^{0.76}$	Taza de falla instantanea (Fallas/h) $\lambda(t) = \frac{0.76}{1342.99} * \left(\frac{t}{0.76}\right)^{0.76-1}$
25	95.27%	4.73%	1.40E-03	1.47E-03
50	92.13%	7.87%	1.15E-03	1.25E-03
75	89.44%	10.56%	1.01E-03	1.13E-03
100	87.03%	12.97%	9.19E-04	1.06E-03
125	84.83%	15.17%	8.49E-04	1.00E-03
150	82.78%	17.22%	7.93E-04	9.58E-04
175	80.86%	19.14%	7.46E-04	9.23E-04
200	79.04%	20.96%	7.06E-04	8.94E-04
225	77.32%	22.68%	6.72E-04	8.69E-04
250	75.68%	24.32%	6.41E-04	8.47E-04
275	74.11%	25.89%	6.14E-04	8.28E-04
300	72.61%	27.39%	5.89E-04	8.11E-04
325	71.16%	28.84%	5.66E-04	5.66E-04
350	69.78%	30.22%	5.45E-04	7.81E-04
375	68.44%	31.56%	5.26E-04	7.69E-04
400	67.14%	32.86%	5.08E-04	7.57E-04
425	65.90%	34.10%	4.91E-04	7.46E-04
450	64.69%	35.31%	4.76E-04	7.36E-04
475	63.52%	36.48%	4.61E-04	7.26E-04
500	62.38%	37.62%	4.47E-04	7.17E-04
550	60.21%	39.79%	4.22E-04	7.01E-04
600	58.15%	41.85%	3.99E-04	6.87E-04
650	56.21%	43.79%	3.79E-04	6.74E-04
700	54.36%	45.64%	3.60E-04	6.62E-04
750	52.61%	47.39%	3.42E-04	6.51E-04
800	50.94%	49.06%	3.26E-04	6.41E-04
850	49.34%	50.66%	3.12E-04	6.32E-04
900	47.82%	52.18%	2.98E-04	6.23E-04
950	46.36%	53.64%	2.85E-04	6.15E-04
1000	44.97%	55.03%	2.73E-04	6.07E-04
1500	33.70%	66.30%	1.86E-04	5.51E-04
2000	25.83%	74.17%	1.33E-04	5.14E-04
2500	20.12%	79.88%	9.81E-05	4.87E-04
3000	15.85%	84.15%	7.40E-05	4.67E-04
3500	12.61%	87.39%	5.67E-05	4.50E-04
4000	10.11%	89.89%	4.40E-05	4.35E-04

Elaborado por: Fredy Rodríguez

En la tabla 4-8 se presenta un resumen de los parámetros de confiabilidad obtenidos con los datos de fallas de la separadora centrífuga de aceite A.

**Tabla 4-8** Tabla general de resultados de índices de confiabilidad

Índice de confiabilidad	Resultado
Parámetro de forma $\beta$	0.76
Vida característica $\eta$ (h)	1342.99
Tasa de falla característica $\lambda$ (1/h)	7.45E-04
Tiempo medio entre fallas MTBF (h)	1521.61
Confiabilidad (%) (500h)	62.38
Desconfiabilidad (%) (500h)	37.62
Densidad de Probabilidad de Falla (Fallas/h) (500h)	4.47E-04
Tasa de Falla Instantánea (Fallas/h) (500h)	7.17E-04

Elaborado por: Fredy Rodríguez

En la figura 4-6, se observa de manera gráfica la tasa de fallas o función de riesgos decreciente en el tiempo, siendo esto indicativo de que el sistema se encuentra dentro de la Fase I de infancia, rodaje o mortalidad infantil de la curva de Davies, lo que muestra que la tasa con que se reduce  $\lambda(t)$  es una compensación entre la variación de función de densidad y la confiabilidad; por su lado, la confiabilidad disminuye significativamente en la medida que aumenta el tiempo.

El parámetro de forma  $\beta(0,76) < 1$  también es indicativo de una tasa de fallas decreciente con el tiempo. Esta característica es propia de equipos en fase de rodaje o infancia, aunque ese no es el caso de la separadora centrífuga de aceite pues es un equipo con un tiempo acumulado de operación de más de 116000 h. En este caso particular, la tasa de fallas decreciente se debe a las estrategias o procedimientos adoptados para el mantenimiento del equipo, por ejemplo; se ha adoptado la política de usar repuestos originales y no fabricarlos en taller, además se ha implementado el uso de químicos desengrasantes en remplazo de los hidrocarburos que se usaban para la limpieza de los elementos del tambor, acción que reduce la necesidad de limpieza abrasiva de los elementos y permite conservar pulidas las superficies de canalización de sólidos.

El parámetro de escala o característica de vida  $\eta = 1342.99h$  representa el número de horas probable de buen funcionamiento del equipo antes de que aparezca otra falla, se puede considerar como la frecuencia ideal del ciclo de mantenimiento preventivo de la separadora de aceite.

El tiempo medio entre fallas o MTBF calculado es 1521.61h, representa la vida media sin fallas de la separadora de aceite.

La función desconfiabilidad o probabilidad de falla de la figura 4-4, muestra claramente como aumenta la probabilidad de que la separadora falle con el transcurso del tiempo. El fabricante del equipo recomienda realizar el mantenimiento preventivo cada cuatro mil (4000) horas de operación. En la tabla 4-7 se puede ver que para ese intervalo de tiempo, el equipo tendría una probabilidad de falla de 90%, por lo que la recomendación del fabricante en cuanto a la frecuencia de mantenimiento preventivo no se podría cumplir.

Actualmente el mantenimiento preventivo se lo realiza cada 500 horas. A este intervalo de tiempo la probabilidad de falla según la curva sería 37.62 %.

En la figura 4-5, se observa que la función densidad de probabilidad de fallas para la distribución de Weibull adopta la forma característica de un  $\beta$  menor a uno, donde en el transcurso del tiempo se reduce la densidad de fallas de la separadora, indicando que el equipo

ha fallado suficientes veces y que cada vez será menor la probabilidad de que una nueva falla aparezca.

#### 4.5.2 Cálculo de la mantenibilidad

Para el cálculo de los parámetros de mantenibilidad se procede de manera similar que para la confiabilidad. En la tabla 4-9 se presentan los tiempos de reparación de las 39 fallas presentadas por la separadora de aceite desde enero del año 2009 hasta diciembre del 2015.

**Tabla 4-9** Ordenamiento de datos del historial de reparaciones

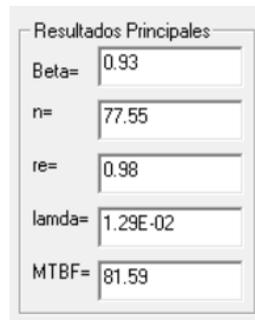
Número de fallo	Fecha	Tiempo de reparación (h)	Tiempo de reparación ordenado de menor a mayor (h)	M(t)	%M(t)
1	2009/04/09	96	1	0.0178	0.0178
2	2009/07/04	12	2	0.0431	0.0431
3	2009/07/19	1	2	0.0685	0.0685
4	2009/10/30	2	12	0.0939	0.0939
5	2010/02/19	14	12	0.1193	0.1193
6	2010/09/07	72	14	0.1447	0.1447
7	2010/10/13	20	16	0.1701	0.1701
8	2010/12/03	2	20	0.1954	0.1954
9	2011/04/21	16	24	0.2208	0.2208
10	2011/11/07	144	24	0.2462	0.2462
11	2011/11/17	120	24	0.2716	0.2716
12	2011/12/06	264	24	0.297	0.297
13	2012/04/17	90	24	0.3223	0.3223
14	2012/06/14	48	24	0.3477	0.3477
15	2012/08/28	288	36	0.3731	0.3731
16	2012/09/18	24	48	0.3985	0.3985
17	2012/11/28	96	48	0.4239	0.4239
18	2012/12/03	96	48	0.4492	0.4492
19	2013/02/05	24	48	0.4746	0.4746
20	2013/02/16	48	48	0.5	0.5
21	2013/02/28	84	48	0.5254	0.5254
22	2013/03/05	120	60	0.5508	0.5508
23	2013/03/13	96	72	0.5761	0.5761
24	2013/04/10	24	84	0.6015	0.6015
25	2013/05/29	192	90	0.6269	0.6269
26	2013/07/06	48	96	0.6523	0.6523
27	2013/07/12	96	96	0.6777	0.6777
28	2013/11/10	48	96	0.703	0.703
29	2014/02/03	24	96	0.7284	0.7284
30	2014/07/08	48	96	0.7538	0.7538
31	2014/10/13	48	108	0.7792	0.7792
32	2014/10/21	24	120	0.8046	0.8046
33	2014/11/13	36	120	0.8299	0.8299
34	2014/11/28	24	120	0.8553	0.8553
35	2015/01/03	120	144	0.8807	0.8807
36	2015/05/09	156	156	0.9061	0.9061
37	2015/05/15	12	192	0.9315	0.9315
38	2015/06/24	60	264	0.9569	0.9569
39	2015/10/27	108	288	0.9822	0.9822

Elaborado por: Fredy Rodríguez

Al ser FIASOFT un programa dedicado al análisis de confiabilidad, en las gráficas y cuadros de resultados aparecen las leyendas y títulos de parámetros de confiabilidad, sin embargo se hace la interpretación para el caso de la mantenibilidad.

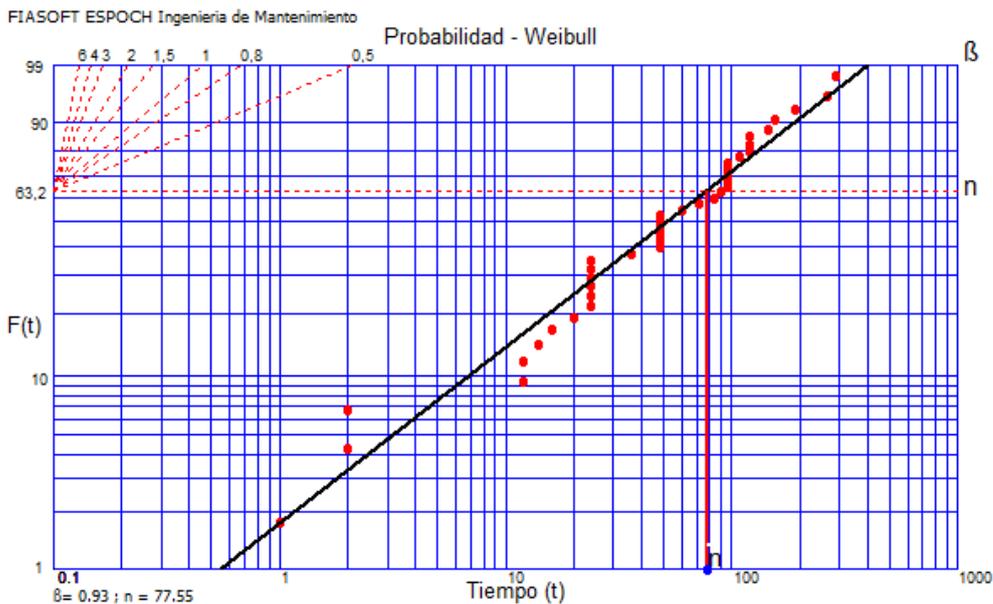
En la tabla 4-9 además de presentarse los tiempos de reparaciones ordenados de menor a mayor, se incluye  $M(t)$  que son los valores medios clasificados por medio de la fórmula de frecuencia acumulada, ecuación (21).  $M(t)\%$  corresponde a los valores medios clasificados expresados en porcentaje.

El programa muestra los valores calculados de los parámetros de la distribución de Weibull para mantenibilidad en un cuadro de texto (Figura 4-8).



**Figura 4-8** Resultados de los parámetros de mantenibilidad  
Elaborado por: Fredy Rodríguez

**Gráfico en papel de Weibull (mantenibilidad)**



**Figura 4-9** Datos de reparaciones de la separadora de aceite en papel de Weibull  
Elaborado por: Fredy Rodríguez

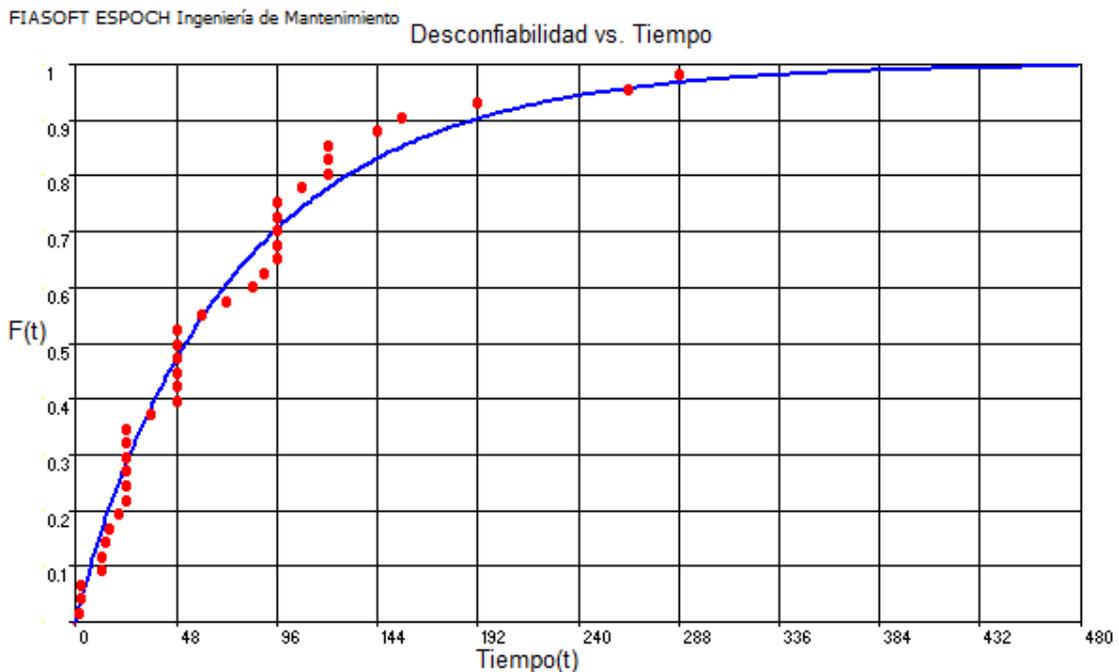
La representación de estos puntos en el gráfico de Weibull genera aproximadamente una recta. Se muestra el valor exacto del parámetro  $\beta$  y  $\eta$ .

**Parámetro de forma  $\beta$ .**- Del gráfico del papel de Weibull se obtiene la pendiente de la recta que es el parámetro de forma  $\beta = 0.93$

**Parámetro de escala  $\eta$ .**- El valor de  $\eta$  es igual a 77.55 horas, que es el valor de la abscisa en el punto donde la recta trazada con los datos corta a la horizontal para  $F(t) = 63,2\%$ . El parámetro de vida característica  $\eta$  para la separadora de aceite, representa el tiempo probable de restauración del sistema a sus condiciones normales de operación, y se constituye en una referencia para la planificación de logística y recursos.

### Mantenibilidad

$$M(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{77.55}\right)^{0.93}\right]$$



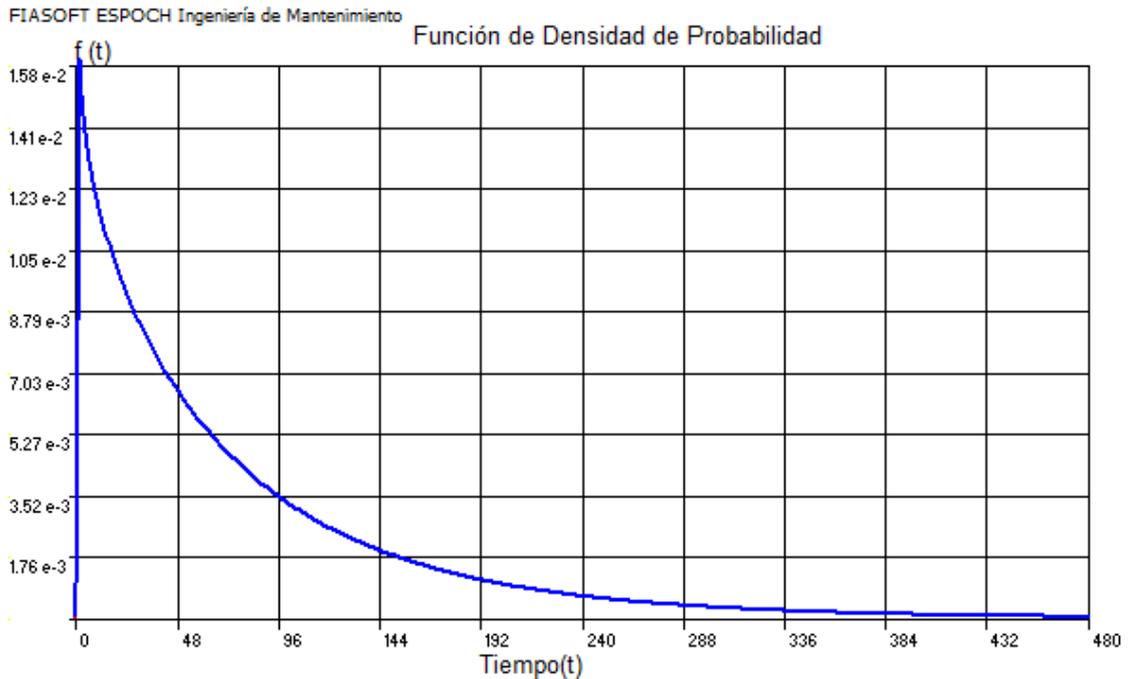
**Figura 4-10** Mantenibilidad vs. tiempo (separadora de aceite)

Elaborado por: Fredy Rodríguez

La grafica 4-10 ilustra el incremento de probabilidad de que el equipo sea reparado con el transcurso del tiempo.

## Densidad de reparaciones

$$f(t) = \frac{0.93}{77.55} * \left(\frac{t}{77.55}\right)^{0.93} * \text{Exp} \left[-\frac{t}{77.55}\right]^{0.93}$$



**Figura 4-11** Densidad de reparaciones en función del tiempo

Elaborado por: Fredy Rodríguez

La figura 4-11 Permite apreciar que la mayoría de reparaciones son ejecutadas en periodos de tiempo relativamente cortos.

Los parámetros característicos de la función Weibull obtenidos para mantenibilidad son:

El **parámetro de posición**  $\gamma = 1.02\text{E-}02\text{h}$  representa el lapso de tiempo en el cual la probabilidad de reparación de la separadora de aceite es nula.

El **parámetro de escala o característica de vida**  $\eta = 98,07\text{h}$  representa el número de horas probable de reparación del equipo.

El **parámetro de forma**  $\beta (0,93) < 1$  indica una distribución de tiempo de reparación creciente con el tiempo. Muestra la tendencia a que las reparaciones tarden cada vez más tiempo.

**Tiempo medio de reparación “MTTR”** = 81.59h es el tiempo medio que se tarda en reparar la separadora de aceite tras una falla. El MTTR es el promedio de tiempo probable utilizado para las reparaciones de la separadora de aceite.

### **Determinación de los índices de mantenibilidad para un tiempo t**

Se calcula los índices de mantenibilidad ingresando para este caso el tiempo t en horas al presionar el botón “tiempo a calcular”. El software “FIASOFT”, utiliza las ecuaciones de los índices de mantenibilidad y los valores obtenidos del parámetro de forma y escala para obtener los resultados.

Los resultados se presentan en el programa de forma independiente en un cuadro de texto como se muestra a continuación en la figura 4-12 para un tiempo de 10h.

The screenshot shows a software window with the following data:

Resultados Tiempo(t)	
Fiabilidad:	51.43%
Desconfiabilidad:	48.57%
Densidad de Probabilidad de Falla:	6.36E-03
Taza de Falla Instantanea:	1.24E-02

Labels: Tiempo a Calcular: 50 [ T ], Falla / T

**Figura 4-12** Cuadro de resultados de índices de mantenibilidad

Elaborado por: Fredy Rodríguez

En la tabla 4-10 se muestran los resultados de los índices de mantenibilidad calculados para diferentes valores de (t) entre 2 y 300 horas.

La tabla 4-11 resume los resultados de los índices de mantenibilidad obtenidos.

**Tabla 4-10** Índices de mantenibilidad calculados para diferentes valores tiempo

T (h)	No mantenibilidad	Mantenibilidad	Densidad de reparaciones
2	0.9672	3.28%	1.50E-02
4	0.9385	6.15%	1.39E-02
6	0.9116	8.84%	1.31E-02
8	0.8861	11.39%	1.25E-02
10	0.8617	13.83%	1.19E-02
15	0.8049	19.51%	1.08E-02
20	0.7531	24.69%	9.93E-03
25	0.7054	29.46%	9.16E-03
30	0.6614	33.86%	8.48E-03
35	0.6205	37.95%	7.87E-03
40	0.5826	41.74%	7.32E-03
45	0.5473	45.27%	6.82E-03
50	0.5143	48.57%	6.36E-03
60	0.4549	54.51%	5.55E-03
70	0.4029	59.71%	4.87E-03
80	0.3572	64.28%	4.27E-03
90	0.3171	68.29%	3.76E-03
100	0.2817	71.83%	3.32E-03
125	0.2104	78.96%	2.44E-03
150	0.1577	84.23%	1.81E-03
175	0.1186	88.14%	1.34E-03
200	0.0895	91.05%	1.00E-03
225	0.0677	93.23%	7.53E-04
250	0.0513	94.87%	5.67E-04
275	0.039	96.10%	4.28E-04
300	0.0296	97.04%	3.23E-04

Elaborado por: Fredy Rodríguez

**Tabla general de resultados índices de mantenibilidad**

**Tabla 4-11** Resultados índices de mantenibilidad

Índices de Mantenibilidad	Resultado
Parámetro de forma $\beta$	0.93
Parámetro de escala $\eta$ (h)	77.55
Tiempo medio de reparación MTTR (h)	81.59
Mantenibilidad (%) (50h)	48.57
Densidad de Reparaciones (Reparaciones/h) (50h)	6.36 E-03

Elaborado por: Fredy Rodríguez

De los datos de la función de mantenibilidad de la figura 4-10 y la tabla 4-10 se interpreta que el 48 % de las fallas se reparan en un tiempo menor a 50 horas.

Como se observa en la figura 4-11, la función densidad de reparaciones muestra como las fallas instantaneas van disminuyendo con el tiempo, en general se puede afirmar que cada vez duran menos.

Los factores contribuyentes a la actual mantenibilidad son principalmente, la gestión de recursos en cuanto a repuestos y el deficit de personal para las reparaciones.



## Cálculo de la disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos

Los tiempos de buen funcionamiento y de reparación se toman de la tabla 4-12 y se definen bajo el concepto de disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos, es decir sin considerar como downtime el tiempo de inactividad ocasionado por la ejecución de mantenimiento planificado. El tiempo de buen funcionamiento o up time corresponde a la suma de tiempo de buen funcionamiento entre fallas más el total de tiempo de mantenimiento planificado invertido entre la ocurrencia de las fallas. El tiempo de reparación o downtime corresponde a la suma de tiempo de mantenimiento correctivo activo y logístico.

En la tabla 4-13 se muestra el UT y DT para el cálculo del MTBF y MTTR bajo el concepto de disponibilidad genérica con mantenimiento preventivo.

**Tabla 4-13** UT y DT (disponibilidad genérica)

Número de fallo	Fecha	Tiempo de buen funcionamiento (h)	Tiempo de reparación (h)
1	2009/04/09	2688	96
2	2009/07/04	1962	12
3	2009/07/19	359	1
4	2009/10/30	2390	2
5	2010/02/19	2482	14
6	2010/09/07	4536	72
7	2010/10/13	796	20
8	2010/12/03	1762	2
9	2011/04/21	2696	16
10	2011/11/07	4620	144
11	2011/11/17	96	120
12	2011/12/06	144	264
13	2012/04/17	2928	90
14	2012/06/14	1302	48
15	2012/08/28	1704	288
16	2012/09/18	216	24
17	2012/11/28	1680	96
18	2012/12/03	24	96
19	2013/02/05	792	24
20	2013/02/16	96	48
21	2013/02/28	168	84
22	2013/03/05	36	120
23	2013/03/13	72	96
24	2013/04/10	504	24
25	2013/05/29	1152	192
26	2013/07/06	624	48
27	2013/07/12	96	96
28	2013/11/10	2304	48
29	2014/02/03	1992	24
30	2014/07/08	3432	48
31	2014/10/13	2280	48
32	2014/10/21	144	24
33	2014/11/13	528	36
34	2014/11/28	324	24
35	2015/01/03	840	120
36	2015/05/09	2304	156
37	2015/05/15	12	12
38	2015/06/24	948	60
39	2015/10/27	2664	108

Elaborado por: Fredy Rodríguez

Los datos de UT y DT para disponibilidad genérica se ingresan en el software FIASOFT. Los resultados obtenidos de MTBF y MTTR en disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos se muestran en la figura 4-13.

Resultados Principales		Resultados Principales	
Beta=	0.76	Beta=	0.93
n=	1,342.99	n=	77.55
re=	0.99	re=	0.98
lamda=	7.45E-04	lamda=	1.29E-02
MTBF=	1,521.61	MTBF=	81.59

**Figura 4-13** Resultados de cálculo de MTBF y MTTR en  $A_G$

Elaborado por: Fredy Rodríguez

Con los datos de MTBF y MTTR obtenidos se calcula la disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos aplicando su ecuación.

$$A_G = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{Tiempo en que puede operar}} = \frac{TT - \sum PM - DT}{TT - \sum PM} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$A_G = \frac{1521.61}{1521.61 + 81.59} = 94.91\%$$

La disponibilidad genérica es de 94.91% y representa la probabilidad de que cumpla su función en condiciones reales, es decir considerando retrasos logísticos pero sin tomar en cuenta la indisponibilidad ocasionada por el mantenimiento preventivo.

### Disponibilidad inherente AI

Los tiempos de buen funcionamiento y de reparación se toman de la tabla 4-12 y se definen bajo el concepto de disponibilidad inherente, es decir el tiempo de buen funcionamiento o up time corresponde a la suma de tiempo de buen funcionamiento entre fallas más el tiempo activo de mantenimiento planificado invertido entre la ocurrencia de las fallas. El tiempo de reparación o downtime corresponde al tiempo activo de mantenimiento correctivo.

En la tabla 4-14 se muestra el UT y DT para el cálculo del MTBF y MTTR bajo el concepto de disponibilidad inherente.

**Tabla 4-14** UT y DT (disponibilidad inherente)

Número de fallo	Fecha	Tiempo de buen funcionamiento (h)	Tiempo de reparación (h)
1	2009/04/09	2688	5
2	2009/07/04	1962	5
3	2009/07/19	359	1
4	2009/10/30	2390	2
5	2010/02/19	2482	8
6	2010/09/07	4388	8
7	2010/10/13	796	4
8	2010/12/03	1758	2
9	2011/04/21	2597	8
10	2011/11/07	4558	8
11	2011/11/17	96	8
12	2011/12/06	144	10
13	2012/04/17	2878	8
14	2012/06/14	1188	10
15	2012/08/28	1704	8
16	2012/09/18	216	10
17	2012/11/28	1680	10
18	2012/12/03	24	8
19	2013/02/05	792	8
20	2013/02/16	96	8
21	2013/02/28	168	8
22	2013/03/05	36	4
23	2013/03/13	72	8
24	2013/04/10	504	10
25	2013/05/29	1138	8
26	2013/07/06	586	8
27	2013/07/12	96	8
28	2013/11/10	2162	5
29	2014/02/03	1854	10
30	2014/07/08	3280	8
31	2014/10/13	1960	8
32	2014/10/21	144	8
33	2014/11/13	466	8
34	2014/11/28	310	4
35	2015/01/03	826	8
36	2015/05/09	2130	8
37	2015/05/15	12	10
38	2015/06/24	898	8
39	2015/10/27	2544	8

Elaborado por: Fredy Rodríguez

Los datos de UT y DT para disponibilidad genérica se ingresan en el software FIASOFT. Los resultados obtenidos de MTBF y MTTR se muestran en la figura 4-14.

Resultados Principales		Resultados Principales	
Beta=	0.77	Beta=	2.17
n=	1,301.38	n=	8.69
re=	0.99	re=	0.89
lamda=	7.68E-04	lamda=	1.15E-01
MTBF=	1,474.46	MTBF=	7.70

**Figura 4-14** Resultados de cálculo de MTBF y MTTR en  $A_I$

Elaborado por: Fredy Rodríguez

Con los datos de MTBF y MTTR obtenidos se calcula la disponibilidad inherente aplicando su ecuación.

$$\text{Disponibilidad Inherente} = A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$A_I = \frac{1474.46}{1474.46 + 7.70} = 99,48\%$$

La disponibilidad inherente es de 99.48% y representa la probabilidad de que cumpla su función en condiciones ideales, es decir sin retrasos logísticos y sin considerar la indisponibilidad ocasionada por el mantenimiento preventivo.

Las disponibilidades alcanzada y operacional consideran para su cálculo además de los tiempos relacionados a fallas, el tiempo entre mantenimientos preventivos y el tiempo invertido en su ejecución. Para su análisis se utiliza el anexo F, donde se desglosan los diferentes componentes de la línea de tiempo de operación y mantenimiento planificado extraídos del registro histórico de operación y mantenimiento.

### Disponibilidad alcanzada $A_A$

La disponibilidad alcanzada considera además de los mantenimientos correctivos el tiempo activo de intervenciones planeadas de mantenimiento y su frecuencia.

$$\text{Disponibilidad Alcanzada} = A_A = \frac{MTBM}{MTBM + M} = \frac{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}}{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}} + \frac{MTTR}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{M_P}{MTBM_P}}}$$

MTBMc es el tiempo medio entre mantenimientos no planeados y es el mismo obtenido en el análisis de disponibilidad inherente.

MTTR es el tiempo neto medio para realizar reparaciones o mantenimientos correctivos, sin incluir demoras logísticas ni retrasos administrativos, es el mismo obtenido en el análisis de disponibilidad inherente.

MTBMp es el tiempo medio entre mantenimientos planeados. Para su cálculo se extrae del anexo G la tabla 4-15, donde se presentan ordenados de menor a mayor los datos de tiempo entre mantenimientos planificados y se censuran los datos iguales.

**Tabla 4-15** Tiempo entre mantenimientos planificados

Tiempo entre mantenimientos planificados ordenado de menor a mayor (h)
459
480
504
528
548
595
624
663
696
729
740
888
924
1147
1195
1268
1305
1499
1528
1644
1711
1944

**Elaborado por:** Fredy Rodríguez

Los datos de la tabla se procesan en FIASOFT obteniéndose los resultados de MTBMp mostrados en la figura 4-15.



**Figura 4-15** Resultado del cálculo de MTBMp

Elaborado por: Fredy Rodríguez

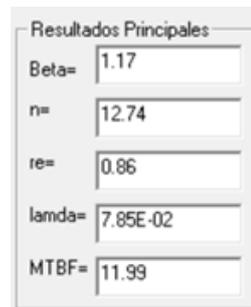
$M_p$  es el tiempo neto medio para realizar tareas proactivas de mantenimiento planificado. Para su cálculo se extrae del anexo G la tabla 4-16, donde se presentan ordenados de menor a mayor los datos de tiempo activo de mantenimiento planificado y se censuran los datos iguales.

**Tabla 4-16** Tiempo de mantenimiento planificado

Tiempo activo de mantenimiento planificado ordenado de menor a mayor (h)
3
4
5
6
7
8
9
10
12
60

Elaborado por: Fredy Rodríguez

Los datos de la tabla se procesan en FIASOFT obteniéndose los resultados de  $M_p$  mostrados en la figura 4-16.



**Figura 4-16** Resultados de cálculo de en  $M_p$

Elaborado por: Fredy Rodríguez

Con los valores obtenidos en el software se procede a la sustitución de los datos en la fórmula.

$$\text{Disponibilidad Alcanzada} = A_A = \frac{\frac{1}{\frac{1}{1474.46} + \frac{1}{792.07}}}{\frac{1}{\frac{1}{1474.46} + \frac{1}{792.07}} + \frac{\frac{7.7}{1474.46} + \frac{11.99}{792.07}}{\frac{1}{1474.46} + \frac{1}{792.07}}} = 98.00\%$$

La disponibilidad alcanzada es de 98% y representa la probabilidad de que cumpla su función en condiciones ideales, es decir sin retrasos logísticos pero considerando la indisponibilidad ideal ocasionada por el mantenimiento preventivo.

### Disponibilidad operacional $A_o$

La disponibilidad operacional considera también los tiempos causados por retrasos logísticos tanto en el mantenimiento programado como en el no programado.

$$\text{Disp. Operacional} = A_o = \frac{MTBM}{MTBM + M} = \frac{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}}{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}} + \frac{\frac{MTTR}{MTBM_C} + \frac{M_P}{MTBM_P}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}}$$

MTBMc es el tiempo medio entre mantenimientos no planeados y es el mismo obtenido en la disponibilidad inherente.

MTBMp es el tiempo medio entre mantenimientos planeados y es el mismo obtenido en la disponibilidad alcanzada.

MTTR es el tiempo neto medio para realizar reparaciones o mantenimientos correctivos incluyendo demoras logísticas, es el mismo obtenido para la disponibilidad genérica con mantenimiento preventivo.

MP es el tiempo neto medio para realizar tareas proactivas de mantenimiento planificado. Para su cálculo se extrae del anexo G la tabla 4-17, donde se presentan ordenados de menor a mayor los datos de tiempo total de mantenimiento planificado y se censuran los datos iguales.

**Tabla 4-17** Tiempo de mantenimiento planificado

Tiempo total de mantenimiento planificado ordenado de menor a mayor (h)
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
20
24
36
48
60
72
76
96
120
240

Elaborado por: Fredy Rodríguez

Los datos de la tabla se procesan en FIASOFT obteniéndose los resultados de MP mostrados en la figura 4-17.



**Figura 4-17** Resultados de cálculo de en MP

Elaborado por: Fredy Rodríguez

Con los valores obtenidos en el software se procede a la sustitución de los datos en la fórmula.

$$\text{Disp. Operacional} = A_o = \frac{\frac{1}{\frac{1}{1474.46} + \frac{1}{792.07}}}{\frac{1}{\frac{1}{1474.46} + \frac{1}{792.07}} + \frac{\frac{81.59}{1474.46} + \frac{40.47}{792.07}}{\frac{1}{1474.46} + \frac{1}{792.07}}} = 90.38\%$$

La disponibilidad operacional es de 90.38% y representa la probabilidad de que cumpla su función en condiciones reales, es decir considerando retrasos logísticos y considerando además la indisponibilidad real ocasionada por el mantenimiento preventivo.

En la tabla 4-17 se muestran los resultados de las disponibilidades calculadas y las principales características que las diferencian.

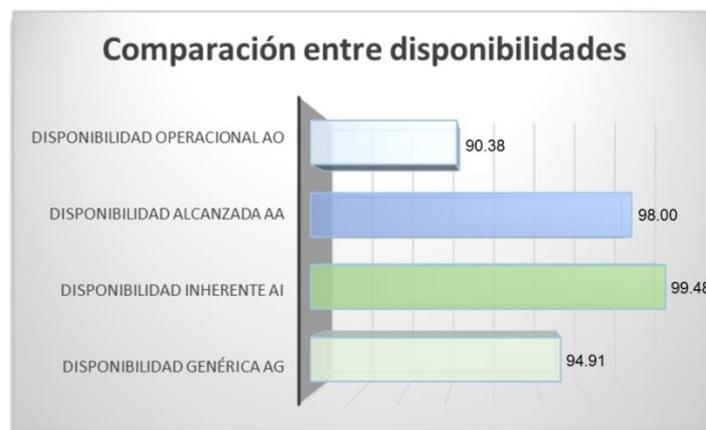
La ventaja de calcular las diferentes formas de disponibilidad para un mismo equipo es que al obtener valores se puede establecer la brecha porcentual existente entre la disponibilidad ideal o inherente y la genérica, que si toma en cuenta el tiempo logístico gastado en el mantenimiento correctivo. O a su vez la comparación con la disponibilidad alcanzada y operacional que considera el tiempo invertido en el mantenimiento preventivo. Estos valores permiten establecer metas, con la consecuente aplicación de estrategias de mantenimiento y facilitan el respectivo monitoreo de su evolución.

**Tabla 4-18** Disponibilidades calculadas

Si se considera mantenimiento preventivo	Condiciones reales, se consideran retrasos logísticos	<b>Disponibilidad Operacional AO</b>	90.38
	Condiciones ideales, sin retrasos logísticos	<b>Disponibilidad Alcanzada AA</b>	98.00
No se considera mantenimiento preventivo	Condiciones ideales, sin retrasos logísticos	<b>Disponibilidad Inherente AI</b>	99.48
	Condiciones reales, se consideran retrasos logísticos	<b>Disponibilidad Genérica AG</b>	94.91

**Elaborado por:** Fredy Rodríguez

La figura 4-18 representa de forma gráfica la diferencia entre las disponibilidades calculadas.



**Figura 4-18** Diferencias entre disponibilidades A<sub>O</sub>, A<sub>A</sub>, A<sub>I</sub>, A<sub>G</sub>.

**Elaborado por:** Fredy Rodríguez

Los valores obtenidos muestran que las pérdidas de disponibilidad se atribuyen en mayor medida a las demoras logísticas tanto de mantenimientos correctivos como planificados. Esto se hace evidente por la significativa diferencia de 7.62 puntos porcentuales existentes entre un entorno ideal de soporte logístico (Disponibilidad Alcanzada) y las adversas y reales condiciones de mantenimiento (Disponibilidad Operacional) a las que está sujeto el equipo, como por ejemplo: falta de repuestos y mano de obra.

La diferencia de 4.5 puntos porcentuales entre la disponibilidad genérica y operacional ponen de manifiesto la importante reducción de disponibilidad generada por la ejecución de tareas de mantenimiento preventivo que al ser planificadas no deberían ser tan significativas.

Los resultados manifiestan que las pérdidas de funcionalidad imputables a fallas que implican reparaciones son menores que las pérdidas de disponibilidad generadas por la ejecución de mantenimientos planeados, esto es evidente ya que  $MTBM_C$  es mayor que  $MTBM_P$ .

#### 4.6 Análisis de Pareto de las fallas de la separadora

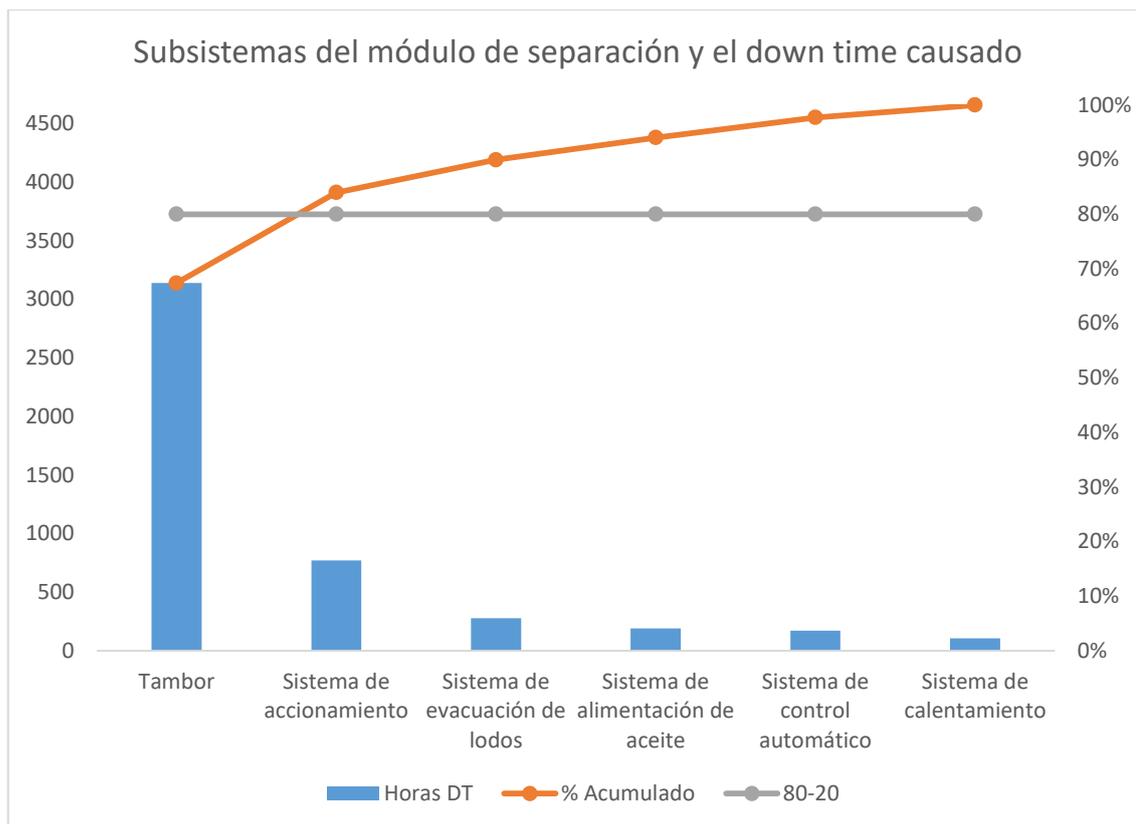
Del registro histórico de operación y mantenimiento se extraen los datos de fallas ocurridas desde el inicio de la operación del equipo y se clasifican por subsistema. La clasificación de los datos se muestra en el anexo H. Se cuantifica el acumulado del número de fallas y tiempo de mantenimiento correctivo gastado en la reparación de cada subsistema. El resultado se muestra en la tabla 4-19.

**Tabla 4-19** Número de fallas cuantificadas por subunidad del módulo de separación

Subsistema en fallo	Numero de fallos	% Num. Fallos	Down time (h)	% Down time
Tambor	49	60.49	3139	67.40
Sistema de accionamiento	16	19.75	772	16.58
Sistema de evacuación de lodos	6	7.41	279	5.99
Sistema de alimentación de aceite	5	6.17	190	4.08
Sistema de calentamiento	3	3.70	106	2.28
Sistema de control automático	2	2.47	171	3.67
Total	81	100	4657	100

**Elaborado por:** Fredy Rodríguez

Con los datos de subsistema en estado de avería y horas de downtime la tabla 4-18 se grafica el diagrama de Pareto de la figura 4-19.



**Figura 4-19** Diagrama de Pareto, subsistemas y down time causado.

Elaborado por: Fredy Rodríguez

En la gráfica se observa una marcada la influencia de las fallas del tambor en el acumulado de tiempo en estado de avería o down time de la separadora centrífuga seguido de las fallas del sistema de accionamiento. A estos dos sistemas se les atribuye casi el 84% del down time total del módulo de separación, cumpliendo en gran medida con el principio de Pareto de 80-20 o pocos vitales y muchos triviales.

Del anexo H se extrae la tabla 4-19, donde se citan los modos de falla más comunes para estos subsistemas así como sus causas y consecuencias con el fin de optimizar en base a estos la estrategia de gestión de mantenimiento a recomendar.

**Tabla 4-20** Modos de falla, causas y consecuencias del módulo de separación

Subsistema	Modo de falla	Causa	Efecto
Tambor	Fuga interna	Falla de empaquetadura	Indisponibilidad
Accionamiento	Vibracion.	Desgaste de rodamientos, bandas	Indisponibilidad

Elaborado por: Fredy Rodríguez

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Los índices de confiabilidad se estimaron conforme a las ecuaciones de predicción con base en los parámetros obtenidos de los tiempos de buen funcionamiento:  $\eta=1342.99h$  y  $\beta=0.76$ .

La confiabilidad o probabilidad de que la separadora de aceite continúe funcionando correctamente después de 500h de operación es de 62.38%. Valores aún menores son aceptables si se considera que se trata de un equipo no crítico en términos de producción y seguridad.

Los índices de mantenibilidad se estimaron conforme a las ecuaciones de predicción con base en los parámetros obtenidos de los tiempos de reparación:  $\eta=77.55h$  y  $\beta=0.93$ .

La mantenibilidad o probabilidad de que la separadora de aceite sea reparada o puesta nuevamente en servicio 50 horas después de ocurrida una falla es de 48.57%. Este valor denota una lenta respuesta del personal de mantenimiento en lo que tiene que ver con la provisión de repuestos o recursos, pues en la entrevista realizada, los técnicos de mantenimiento manifestaron que de contar con todos los recursos necesarios, la reparación de este equipo no les ocuparía más de 11 horas.

La disponibilidad genérica que solo considera la indisponibilidad que generan las intervenciones de mantenimiento correctivo es 94,91%.

La disponibilidad operacional que a más del tiempo de mantenimiento correctivo, considera la indisponibilidad que genera el mantenimiento preventivo es de 90,38%

La diferencia de 4.5 puntos porcentuales entre la disponibilidad genérica y operacional pone de manifiesto la importante reducción de disponibilidad generada por la ejecución de tareas de mantenimiento preventivo a la frecuencia actual.

Los resultados de la investigación permitieron cumplir con el objetivo planteado que es medir la gestión del mantenimiento a través del análisis CMD.

Se comprueba la hipótesis planteada, al establecer los modelos matemáticos de la disponibilidad en función de las variables confiabilidad y mantenibilidad.

## 5.2 Recomendaciones

Ampliar la frecuencia de mantenimiento preventivo de 500h con una confiabilidad de 62.38% a 1000h con una confiabilidad del 45 %, valor cercano al de característica de vida  $\eta = 1342.99h$  que se puede considerar como la frecuencia ideal del ciclo de mantenimiento preventivo. La reducción de confiabilidad se puede tolerar amparándose en que las consecuencias de las fallas de la separadora (indisponibilidad) no son representativas ni críticas. Esto permitirá el ahorro de insumos, materiales y mano de obra; además reducirá el deterioro de los elementos que sufren manipulación durante el desarmado y armado del equipo ocasionado por el sobremantenimiento que es uno de los factores que reduce la disponibilidad. La implementación de esta medida reduciría los costos de mantenimiento preventivo a la mitad, representando cantidades económicas significativas al considerar que la empresa cuenta con 8 equipos similares.

**Tabla 5-1** Beneficio económico de implementación de medidas

Costo de mantenimiento preventivo \$USD		
Mano de obra		130
Desengrasante		45
Equipo de protección		5
Consumibles		4
Herramientas		4
Costo de cada intervención		188
Costo anual actual (500h)	= 188x18x8	27072
Costo anual propuesto (1000h)	= 188x9x8	13536
<b>Beneficio anual</b>		<b>13536</b>

Elaborado por: Fredy Rodríguez

Según los datos de mantenibilidad obtenidos, apenas el 29% de las fallas se reparan en un tiempo menor a 24 horas. Para mejorar este indicador se debe optimizar la gestión de repuestos y mano de obra a fin de que las fallas sean atendidas con mayor celeridad.

Para mejorar la confiabilidad de la separadora de aceite se recomienda la aplicación de técnicas cualitativas como: análisis de modos, efectos de falla y criticidad (FMECA), análisis causa raíz (RCA). Estas técnicas permiten determinar las causas puntuales que ocasionan inconvenientes

para orientar los esfuerzos hacia la erradicación de las mismas. Considerando los resultados obtenidos en el análisis de Pareto, se debe focalizar la aplicación de estas técnicas al análisis de fallas del tambor y sistema de accionamiento.

Conformar un grupo de ataque para mantenimiento correctivo con el personal del área mecánica que mejores competencias posea, ya que es en este ámbito donde mayor número de fallas presenta la separadora de aceite.

Controlar y medir permanentemente los valores CMD a fin de gestionar el mejoramiento continuo de los procesos de mantenimiento, con este propósito se recomienda que el personal de operación y mantenimiento registre con mayor detalle los tiempos de mantenimiento como tiempo de retrasos logísticos de insumos, repuestos o recursos humanos, tiempos administrativos, tiempos en que el equipo está disponible pero no produce, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abernethy, R. (2010). *The new Weibull Handbook*. 5ª. ed. Florida.
- Ankunda, K. (2011). *The application of the Pareto Principle in software engineering*.
- Barringer, P. (2005). *Availability, Reliability, Maintainability, and Capability*. Texas, USA.
- Bavaresco, A. M. (2006) *Proceso Metodológico en la Investigación: Cómo hacer un Diseño de Investigación – 5ª. ed.* Maracaibo, Venezuela: Editorial Ediluz.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales – 3ª. ed* Bogotá, Colombia: Pearson Educación de Colombia Ltda.
- Blanchard, B. (2004). *Maintainability: A key to effective serviceability and maintenance management*. USA.
- Calixto, E. (2013) *Gas and Oil Reliability Engineering Modeling and Analysis*. Boston, USA. Elsevier Press.
- Calixto, E. (s.f.) *The non-linear optimization methodology model: The Refinery Plant Availability optimization study case*. Rio de Janeiro, Brasil. UFRJ-COPPE.
- Ebeling, E., (2005), *An introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, New York, USA, Waveland Press.
- Ebrahimi, A. (2010). *Effect analysis of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) Parameters in design and operation of Dynamic Positioning (DP) systems in floating offshore structures*. Stockholm, Sweden. KTH Production Engineering and Management.
- Escudero, M., Rojas, J. (2011). *Diagnóstico y evaluación de confiabilidad del alimentador #122 para la Empresa Eléctrica Azogues C.A. usando el método de simulación de Montecarlo*. Cuenca, Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca.

- Everitt, B., Skrondal, A. (2010). *The Cambridge dictionary of statistics*. 4a. ed. , Cambridge University Press.
- García, L., (1996). *La disponibilidad como objetivo – Ingeniería química*.
- Gutiérrez, H., De La Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis Sigma*. México, D.F: McGraw-Hill.
- Hernández, R. (2006). *Metodología de la Investigación*. México, D.F: McGraw-Hill.
- Husband, M. (1976). *Maintenance Management and Technology*. USA: Ashgate Publishing.
- ISO. (2004). DIS 14224, *Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. Norway.
- Landeta, J. (2009). *Establecimiento de un Sistema Indicador de Gestión para el control del mantenimiento centrado en confiabilidad de los equipos de rehabilitación de pozos (work-over) de una empresa de perforación y rehabilitación de pozos petroleros*. Puerto la Cruz, Venezuela. Universidad de Oriente.
- Kelly, A., (1998), *Gestión del mantenimiento industrial*. Madrid, España, Fundaciones Repsol.
- Knezevic, J., (1996), *Mantenibilidad*, Madrid, España, Editorial ISDEFE.
- Leemins, L. (1995). *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods*. New Jersey, USA, Editorial Prentice Hall.
- Martínez, K. (2010). *Análisis de fallas aplicados a los equipos de carga tipo scoop de la Mina Isidora – Valle Norte pertenecientes a la empresa minera Venrus C.A., El Callao, Venezuela*.
- Mora, A. (2007) *Mantenimiento Estratégico Empresarial, Enfoque sistemático Kantiano*, Medellín, Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Mora, A. (2013) *Análisis de fallas: Fiabilidad, Mantenibilidad, Criterios efectivos para mejorar la confiabilidad y la mantenibilidad*. Panamá, Panamá: Primer congreso internacional de mantenimiento.

Parra, C. (2002). *Diseño de software de análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad*, Caracas, Venezuela, PDVSA.

Placencia, S. (2015). *Gestión Tecnológica Y Económica De Activos Físicos, (Maestría en Gestión del Mantenimiento*. Escuela superior Politécnica de Chimborazo)

Ramakumar, R. (1996). *Engineering Reliability. Fundamentals and applications*. New Jersey, USA, Editorial Prentice Hall.

## ANEXOS

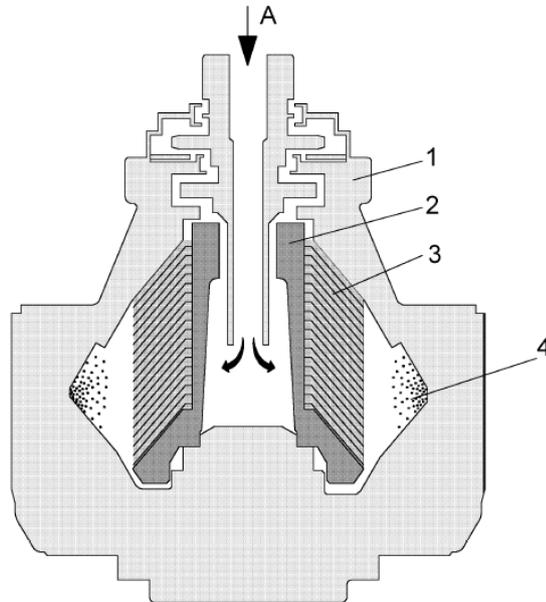
### Anexo A: Ley de Weibull

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad MTBF = m = E(t) = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$\beta$	$m/n = \Gamma(1+1/\beta)$	$\sigma/\eta$	$\beta$	$m/n = \Gamma(1+1/\beta)$	$\sigma/\eta$
0	$\infty$	$\infty$	4.1	0.9077	0.249
0.1	10!	$= \sqrt{20! - (10!)^2}$	4.2	0.9089	0.244
0.2	120	1901	4.3	0.9102	0.239
0.3	9.2605	50.078	4.4	0.9114	0.235
0.4	3.3234	10.438	4.5	0.9126	0.230
0.5	2.00	4.472	4.6	0.9137	0.226
0.6	1.5048	2.645	4.7	0.9149	0.222
0.7	1.2658	1.851	4.8	0.9160	0.218
0.8	1.1330	1.428	4.9	0.9171	0.214
0.9	1.0521	1.171	5.0	0.9182	0.210
1.0	1.000	1.000	5.1	0.9192	0.207
1.1	0.9649	0.8782	5.2	0.9202	0.203
1.2	0.9407	0.787	5.3	0.9213	0.200
1.3	0.9236	0.716	5.4	0.9222	0.197
1.4	0.9114	0.660	5.5	0.9232	0.194
1.5	0.9028	0.613	5.6	0.9241	0.191
1.6	0.8966	0.574	5.7	0.9251	0.188
1.7	0.8922	0.540	5.8	0.9260	0.185
1.8	0.8893	0.511	5.9	0.9269	0.182
1.9	0.8874	0.486	6.0	0.9277	0.180
2.0	0.8862	0.463	6.1	0.9286	0.177
2.1	0.8857	0.443	6.2	0.9294	0.175
2.2	0.8856	0.425	6.3	0.9302	0.172
2.3	0.8859	0.409	6.4	0.931	0.170
2.4	0.8865	0.393	6.5	0.9318	0.168
2.5	0.8873	0.380	6.6	0.9325	0.165
2.6	0.8882	0.367	6.7	0.9333	0.163
2.7	0.8893	0.355	6.8	0.934	0.161
2.8	0.8905	0.344	6.9	0.9347	0.159
2.9	0.8917	0.334	7.0	0.9354	0.157
3.0	0.8930	0.325	7.1	0.9361	0.155
3.1	0.8943	0.316	7.2	0.9368	0.153
3.2	0.8957	0.307	7.3	0.9375	0.151
3.3	0.8970	0.299	7.4	0.9381	0.150
3.4	0.8984	0.192	7.5	0.9387	0.148
3.5	0.8998	0.284	7.6	0.9394	0.146
3.6	0.9011	0.278	7.7	0.9400	0.145
3.7	0.9025	0.272	7.8	0.9406	0.143
3.8	0.9038	0.266	7.9	0.9412	0.141
3.9	0.9051	0.260	8.0	0.9417	0.140
4.0	0.9064	0.254	8.1	0.9423	0.138

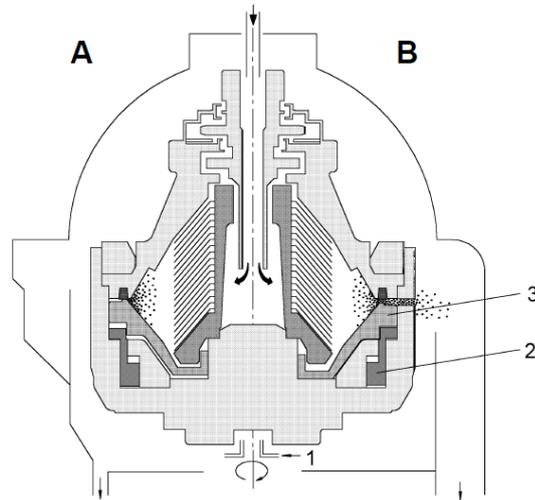
## Anexo B. Elementos constitutivos del tambor de la separadora centrífuga

### Tambor



No.	Elemento	Función
1	Tambor	Genera por rotación grandes fuerzas centrífugas que causan el efecto de purificación y clarificación.
2	Distribuidor	Acelera el producto, introducido a través de la entrada A, a la velocidad de rotación del tambor y luego conduce dicho producto al juego de platos.
3	Juego de platos	Descompone una mezcla de líquidos formada por una fase ligera y otra pesada, por ejemplo aceite y agua, en sus distintos componentes.
4	Recinto de sólidos	Recibe los sólidos centrifugados en el juego de platos.

## Sistema hidráulico del tambor

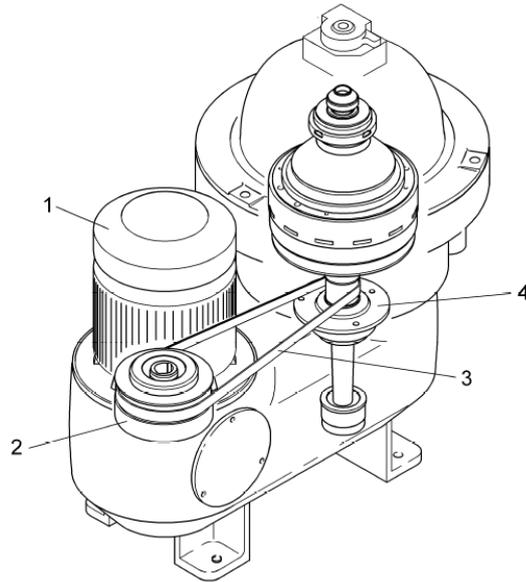


**A** Centrifugación – Tambor cerrado

**B** Descarga – Tambor abierto

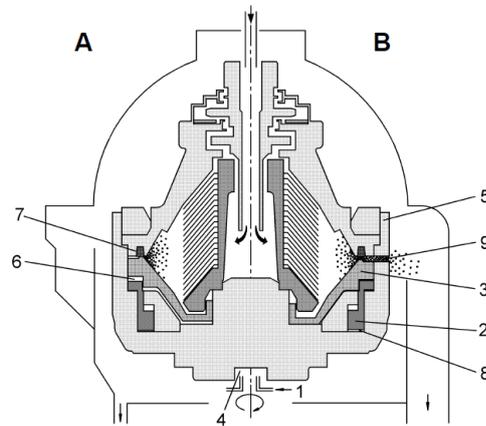
No.	Elemento	Función
1	Líquido de maniobra	El líquido de maniobra alimentado al tambor en rotación gira con él y produce en su interior una elevada presión centrífuga. Dicha presión se aprovecha para accionar el pistón anular y el pistón deslizante, que cierra y abre el tambor.
2	Pistón anular	Gira con la misma velocidad angular que las demás piezas del tambor, puede desplazarse axialmente.
3	Pistón deslizante	Gira con la misma velocidad angular que las demás piezas del tambor, puede desplazarse axialmente.

## Accionamiento



No.	Elemento	Función
1	Motor	Acciona la centrífuga. La potencia se transmite mediante el embrague centrífugo a la polea del motor y mediante la correa de accionamiento al eje vertical del tambor.
2	Embrague centrífugo	Se encarga de la transmisión de potencia entre el motor, la correa de accionamiento y el eje vertical. Lleva al tambor progresivamente al régimen de revoluciones nominal.
3	Correa de accionamiento	Transmite la potencia del motor de accionamiento 1 al eje vertical del tambor 4.
4	Eje vertical del tambor	Aloja al tambor.

## Cierre y apertura del tambor



A Centrifugación – Tambor cerrado. B Descarga – Tambor abierto

### Cierre del tambor (centrifugación)

Una vez arrancada la centrífuga se acciona la electroválvula del líquido de maniobra con ayuda del programador, y el tambor se cierra de la siguiente manera:

No.	Elemento	Función
1	Líquido de maniobra	Entra en la cámara de inyección 4 de la parte inferior del tambor 5 y pasa de aquélla, por unos conductos, a la cámara de cierre 6. De esta forma se inicia el cierre del tambor.
2	Pistón anular	Pasa a posición de cierre.
3	Pistón deslizante	La presión de líquido en la cámara de cierre lo presiona contra la junta 7 de la tapa del tambor y cierra así el tambor.

### Apertura del tambor (descarga)

Mediante el programador se abre la electroválvula del líquido de maniobra, y se inicia el proceso de descarga de la siguiente manera:

No.	Elemento	Función
1	Líquido de maniobra	Entra primero en la cámara de inyección 4 y pasa de allí a la cámara de apertura 8.

- |   |                   |   |
|---|-------------------|---|
| 2 | Pistón anular     | Sube y vacía la cámara de cierre 6.   |
| 3 | Pistón deslizante | Desciende y deja libres los orificios de la parte inferior del tambor 5 para la descarga de los sólidos eliminados 9. |

**Anexo C. Registro histórico de operación y mantenimiento de la separadora centrífuga de aceite**  
**A de la empresa Agip Oil Ecuador.**

Evento	* Fecha	* Horómetro (h)	** Tiempo de buen funcionamiento del modulo UT (h)	* Tiempo total de mantenimiento correctivo DT (h)	*** Tiempo activo de mantenimiento correctivo (h)	* Tiempo total de mantenimiento preventivo (h)	*** Tiempo activo de mantenimiento preventivo (h)	* Tiempo de standby (h)
1	1999-06-09	648	648	96	10			
2	1999-07-10	1296	648	120	8			
3	1999-07-23	1488	192	48	5			
4	1999-07-29	1584				48	10	
5	1999-08-01	1608						120
6	1999-08-24	2040	552	168	7			
7	1999-09-01	2064						552
8	1999-09-02	2160				48	10	
9	1999-10-03	2232	192	72	5			
10	1999-10-10	2328						1992
11	2000-02-08	3240						456
12	2000-03-03	3360						432
13	2000-04-07	3768				48	10	
14	2000-04-22	4080	1848	168	8			
15	2000-05-11	4368						96
16	2000-06-02	4800						120
17	2000-07-16	5736				24	10	
18	2000-07-17	5736						576
19	2000-08-28	6168				24	10	
20	2000-09-20	6696						192
21	2000-09-29	6720	2640	24	10			
22	2000-10-25	7320				24	10	
23	2000-11-18	7872				24	10	
24	2000-11-22	7944						120
25	2000-12-05	8136	1416	48	10			
26	2001-01-02	8760				24	10	
27	2001-02-03	9504				24	10	
28	2001-03-06	10224				24	10	
29	2001-03-08	10248	2112	24	10			
30	2001-03-18	10464	216	48	10			
31	2001-03-30	10704				24	10	
32	2001-04-19	11160				24	10	
33	2001-05-19	11856				24	10	
34	2001-05-23	11928						144
35	2001-06-01	12000						120
36	2001-06-15	12216						672
37	2001-07-17	12312				24	10	
38	2001-07-18	12312						312
39	2001-08-05	12432						960
40	2001-09-18	12528						552
41	2001-10-24	12840				48	10	
42	2001-11-18	13392				24	10	
43	2001-11-24	13512						312
44	2001-12-13	13656				48	10	
45	2002-01-17	14448				24	10	
46	2002-02-16	15144				24	10	
47	2002-03-06	15552				24	10	
48	2002-03-07	15552						480
49	2002-04-11	15912				24	10	
50	2002-05-27	16992				24	10	
51	2002-06-16	17448						168
52	2002-06-27	17544						192
53	2002-07-18	17856	7392	24	8			
54	2002-08-08	18336				24	10	
55	2002-08-28	18792	936	24	8			
56	2002-09-01	18864						144
57	2002-09-19	19152						240
58	2002-10-11	19440						120
59	2002-09-30	19776				24	10	
60	2002-11-22	20304						216
61	2002-12-23	20832				24	10	
62	2003-01-16	21384				24	10	
63	2003-02-07	21888				24	10	
64	2003-02-09	21912						168
65	2003-03-10	22440				24	10	
66	2003-03-16	22560						72
67	2003-04-03	22920						96
68	2003-04-16	23136						168
69	2003-06-05	24168						96
70	2003-06-09	24168				24	10	
71	2003-06-11	24206	5414	10	8			
72	2003-07-03	24710				24	10	
73	2003-07-23	25166				24	10	
74	2003-09-10	26318				48	10	
75	2003-09-21	26534						192

Evento	* Fecha	* Horómetro (h)	** Tiempo de buen funcionamiento del modulo UT (h)	* Tiempo total de mantenimiento correctivo DT (h)	*** Tiempo activo de mantenimiento correctivo (h)	* Tiempo total de mantenimiento preventivo (h)	*** Tiempo activo de mantenimiento preventivo (h)	* Tiempo de standby (h)
76	2003-10-18	26990				24	10	
77	2003-10-21	27038						144
78	2003-11-03	27206						360
79	2003-12-05	27614				24	10	
80	2003-12-08	27662						360
81	2003-12-28	27782	3576	24	10			
82	2004-01-02	27878	96	24	8			
83	2004-01-07	27986	108	12	8			
84	2004-02-05	28658						264
85	2004-03-18	29402						144
86	2004-03-24	29402				24	10	
87	2004-04-02	29594				24	10	
88	2004-04-25	30122				24	10	
89	2004-05-12	30506						120
90	2004-05-20	30578				24	10	
91	2004-05-23	30626						288
92	2004-06-22	31058				24	10	
93	2004-07-26	31850				24	10	
94	2004-07-27	31850	3864	24	8			
95	2004-08-26	32546						120
96	2004-08-31	32546				24	10	
97	2004-10-10	33494				12	10	
98	2004-11-03	34046						240
99	2004-11-14	34070				24	10	
100	2004-12-06	34574						144
101	2004-12-19	34742						192
102	2005-01-07	35003				3	3	
103	2005-02-02	35624				3	3	
104	2005-02-03	35632						16
105	2005-02-26	36181				3	3	
106	2005-03-03	36277						300
107	2005-04-03	36739				6	6	
108	2005-05-01	37406	5556	5	10			
109	2005-05-05	37478						24
110	2005-06-03	38171				3	3	
111	2005-06-28	38768				3	3	
112	2005-07-23	39344	1938	60	8			
113	2005-08-06	39634						10
114	2005-08-08	39679				3	3	
115	2005-09-05	40327	983	26	8			
116	2005-09-09	40397						144
117	2005-09-22	40579	252	10	10			
118	2005-10-06	40911				4	4	
119	2005-10-13	41069	490	10	8			
120	2005-10-27	41381				26	10	
121	2005-12-03	42260				7	7	
122	2005-12-12	42464						12
123	2006-01-06	43061				3	3	
124	2006-01-28	43586				3	3	
125	2006-02-15	44015				3	3	
126	2006-03-05	44439				8	8	
127	2006-03-16	44607						158
128	2006-04-02	44949				4	4	
129	2006-04-21	45402				3	3	
130	2006-05-08	45802				8	8	
131	2006-06-02	46394				8	8	
132	2006-06-15	46682						30
133	2006-07-01	47054				6	6	
134	2006-07-20	47502				8	8	
135	2006-07-27	47648						22
136	2006-08-05	47840				24	10	
137	2006-08-11	47960						96
138	2006-08-26	48224				48	10	
139	2006-10-03	49102				10	10	
140	2006-10-17	49414	8345	54	8			
141	2006-12-02	50464				24	10	
142	2006-12-22	50936				8	8	
143	2007-01-17	51536						936
144	2007-03-03	51696				8	8	
145	2007-03-06	51744						432
146	2007-04-09	52142				10	10	
147	2007-04-17	52310						120
148	2007-05-04	52598				48	10	
149	2007-05-20	52934						1200
150	2007-07-14	53054	3640	72	8			

Evento	* Fecha	* Horómetro (h)	** Tiempo de buen funcionamiento del modulo UT (h)	* Tiempo total de mantenimiento correctivo DT (h)	*** Tiempo activo de mantenimiento correctivo (h)	* Tiempo total de mantenimiento preventivo (h)	*** Tiempo activo de mantenimiento preventivo (h)	* Tiempo de standby (h)
151	2007-07-19	53102	48	72	8			
152	2007-08-08	53530				4	4	
153	2007-08-28	54007				3	3	
154	2007-08-31	54055						96
155	2007-09-11	54240				7	7	
156	2007-10-03	54765				3	3	
157	2007-11-04	55523				10	10	
158	2007-11-10	55665	2563	2	4			
159	2007-11-15	55761	96	72	8			
160	2007-11-24	55905						192
161	2007-12-10	56113				8	8	
162	2007-12-12	56158	397	3	8			
163	2007-12-18	56278	120	36	8			
164	2008-01-07	56743				3	3	
165	2008-01-09	56767						168
166	2008-01-19	56839	561	24	8			
167	2008-02-04	57199	360	60	8			
168	2008-02-11	57328				3	3	
169	2008-03-02	57803				5	5	
170	2008-03-23	58300				7	7	
171	2008-04-04	58584				4	4	
172	2008-04-05	58603				5	5	
173	2008-04-06	58621				6	6	
174	2008-04-24	59050	1851	3	5			
175	2008-05-02	59232				10	10	
176	2008-05-22	59706	656	6	8			
177	2008-06-05	60039				3	3	
178	2008-06-24	60471	765	36	8			
179	2008-06-30	60579						120
180	2008-07-08	60672				3	3	
181	2008-07-28	61128				72	10	
182	2008-08-07	61296	825	24	8			
183	2008-08-12	61392	96	24	8			
184	2008-08-14	61416	24	36	8			
185	2008-08-18	61476	60	144	8			
186	2008-08-28	61572	96	36	8			
187	2008-09-08	61800	228	24	4			
188	2008-09-26	62222				10	10	
189	2008-10-10	62554				4	4	
190	2008-10-30	63030				4	4	
191	2008-11-01	63075	1275	3	7			
192	2008-11-20	63528				3	3	
193	2008-12-05	63876	801	12	8			
194	2008-12-10	63987				9	9	
195	2008-12-30	64459				8	8	
196	2009-01-11	64744				3	3	
197	2009-01-31	65215				9	9	
198	2009-02-10	65431						72
199	2009-03-03	65878				9	9	
200	2009-03-07	65950						216
201	2009-04-06	66473				5	5	
202	2009-04-09	66521	2645	96	5			
203	2009-05-03	67021				4	4	
204	2009-05-24	67515				10	10	
205	2009-05-25	67521						18
206	2009-06-13	67970				7	7	
207	2009-07-04	68462	1941	12	5			
208	2009-07-14	68699				3	3	
209	2009-07-19	68818	356	1	10			
210	2009-07-29	69034						72
211	2009-08-08	69223				3	3	
212	2009-09-08	69959						8
213	2009-10-02	70528				7	7	
214	2009-10-22	71000				8	8	
215	2009-10-30	71190	2372	2	8			
216	2009-11-11	71466				12	12	
217	2009-12-02	71967				3	3	
218	2009-12-23	72467				4	4	
219	2010-02-04	73475						192
220	2010-02-19	73653	2463	14	8			
221	2010-03-13	74178				3	3	
222	2010-04-02	74655				3	3	
223	2010-04-19	75056				7	7	
224	2010-05-04	75413				3	3	
225	2010-05-24	75890				3	3	

Evento	* Fecha	* Horómetro (h)	** Tiempo de buen funcionamiento del modulo UT (h)	* Tiempo total de mantenimiento correctivo DT (h)	*** Tiempo activo de mantenimiento correctivo (h)	* Tiempo total de mantenimiento preventivo (h)	*** Tiempo activo de mantenimiento preventivo (h)	* Tiempo de standby (h)
226	2010-06-03	76106						240
227	2010-06-13	76106				72	10	
228	2010-06-27	76370				96	10	
229	2010-07-14	76700				6	6	
230	2010-09-02	77895				5	5	
231	2010-09-07	77991	4338	72	8			
232	2010-09-23	78321				6	6	
233	2010-10-11	78741				12	10	
234	2010-10-13	78769	778	20	4			
235	2010-11-06	79333				12	10	
236	2010-11-21	79669						84
237	2010-12-29	79861				12	10	
238	2010-12-03	80507	1738	2	8			
239	2011-02-03	81360				11	10	
240	2011-02-21	81768				72	10	
241	2011-03-10	82108				20	10	
242	2011-04-02	82636				36	10	
243	2011-04-21	83064	2557	16	8			
244	2011-05-05	83376				72	10	
245	2011-05-18	83616						156
246	2011-06-05	83909				7	7	
247	2011-07-01	84524				9	9	
248	2011-09-03	86052				8	8	
249	2011-10-04	86791				5	5	
250	2011-11-07	87583	4519	144	8			
251	2011-11-17	87679	96	120	8			
252	2011-11-22	87679						192
253	2011-12-06	87823	144	264	10			
254	2012-01-06	88318				9	9	
255	2012-01-25	88767				7	7	
256	2012-02-11	89151				60	10	
257	2012-03-06	89688				3	3	
258	2012-04-06	90426				6	6	
259	2012-04-17	90666	2843	90	8			
260	2012-05-08	91092				12	10	
261	2012-05-13	91188				96	10	
262	2012-05-23	91332				36	10	
263	2012-06-14	91824	1158	48	10			
264	2012-06-17	91860				12	10	
265	2012-07-07	92337				3	3	
266	2012-08-02	92951				10	10	
267	2012-08-11	93143						48
268	2012-08-28	93503	1679	288	8			
269	2012-09-18	93719	216	24	10			
270	2012-10-09	94219				4	4	
271	2012-10-28	94671				4	4	
272	2012-11-28	95391	1672	96	10			
273	2012-12-03	95415	24	96	8			
274	2012-12-23	95818				5	5	
275	2012-12-24	95818						192
276	2013-01-03	95866						216
277	2013-01-15	95938						168
278	2013-01-25	96010						72
279	2013-02-05	96202	787	24	8			
280	2013-02-08	96250						144
281	2013-02-16	96298	96	48	8			
282	2013-02-20	96346						72
283	2013-02-28	96466	168	84	8			
284	2013-03-05	96502	36	120	4			
285	2013-03-13	96574	72	96	8			
286	2013-04-03	96982						72
287	2013-04-10	97078	504	24	10			
288	2013-04-27	97462				24	10	
289	2013-05-14	97860				10	10	
290	2013-05-29	98196	1118	192	8			
291	2013-06-09	98268				48	10	
292	2013-06-18	98436						96
293	2013-07-06	98772	576	48	8			
294	2013-07-12	98868	96	96	8			
295	2013-07-20	98964				24	10	
296	2013-07-30	99180						504
297	2013-08-26	99324				24	10	
298	2013-09-17	99828				24	10	
299	2013-10-07	100284				48	10	
300	2013-11-03	100884				72	10	



**Anexo D.** Entrevista realizada al personal de operación y mantenimiento

**SEPARADORA DE ACEITE "A" DE LA PLANTA DE GENERACIÓN**

**CPF – AGIP OIL ECUADOR**

**ENTREVISTA**

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de complementar los datos existentes en la bitácora de operación y mantenimiento de la planta de generación. (FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

1. Por favor indique su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia.

LIDER MECANICO 18 años

2. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento preventivo de 500h del equipo sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

12 HORAS.

3. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento correctivo de los siguientes sistemas de la separadora de aceite sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

Sistema	Tiempo de reparación (h)
Sistema de alimentación de aceite	4
Sistema de calentamiento	10
Sistema de accionamiento	8
Tambor	10
Sistema de control automático	10
Sistema de evacuación de lodos	4

**GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN**

## SEPARADORA DE ACEITE "A" DE LA PLANTA DE GENERACIÓN

CPF – AGIP OIL ECUADOR

### ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de complementar los datos existentes en la bitácora de operación y mantenimiento de la planta de generación. (FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

1. Por favor indique su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia.

*Mecánico de generación 8 años*

2. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento preventivo de 500h del equipo sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

*11 Hrs*

3. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento correctivo de los siguientes sistemas de la separadora de aceite sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

Sistema	Tiempo de reparación (h)
Sistema de alimentación de aceite	7
Sistema de calentamiento	5
Sistema de accionamiento	11
Tambor	4
Sistema de control automático	6
Sistema de evacuación de lodos	5

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

## SEPARADORA DE ACEITE "A" DE LA PLANTA DE GENERACIÓN

CPF – AGIP OIL ECUADOR

### ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de complementar los datos existentes en la bitácora de operación y mantenimiento de la planta de generación. (FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

1. Por favor indique su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia.

OPERADOR LEADER POWER PLANT 25 AÑOS

2. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento preventivo de 500h del equipo sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

6 HORAS

3. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento correctivo de los siguientes sistemas de la separadora de aceite sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

Sistema	Tiempo de reparación (h)
Sistema de alimentación de aceite	2
Sistema de calentamiento	8
Sistema de accionamiento	8
Tambor	4
Sistema de control automático	3
Sistema de evacuación de lodos	2

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

## SEPARADORA DE ACEITE "A" DE LA PLANTA DE GENERACIÓN

CPF – AGIP OIL ECUADOR

### ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de complementar los datos existentes en la bitácora de operación y mantenimiento de la planta de generación. (FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

1. Por favor indique su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia.

Técnico Mecánico. - 17 años

---

2. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento preventivo de 500h del equipo sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

10 horas.

---

3. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento correctivo de los siguientes sistemas de la separadora de aceite sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

Sistema	Tiempo de reparación (h)
Sistema de alimentación de aceite	2 horas.
Sistema de calentamiento	6 horas.
Sistema de accionamiento	10 horas.
Tambor	4 horas
Sistema de control automático	6 horas.
Sistema de evacuación de lodos	6 horas.

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

**SEPARADORA DE ACEITE "A" DE LA PLANTA DE GENERACIÓN CPF – AGIP OIL  
ECUADOR**

**ENTREVISTA**

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de complementar los datos existentes en la bitácora de operación y mantenimiento de la planta de generación. (FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

1. Por favor indique su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia.

Tecnico Mecánico

2. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento preventivo de 500h del equipo sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

11 horas

3. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento correctivo de los siguientes sistemas de la separadora de aceite sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

Sistema	Tiempo de reparación (h)
Sistema de alimentación de aceite	3 horas
Sistema de calentamiento	8 horas
Sistema de accionamiento	8 horas
Tambor	4 horas
Sistema de control automático	3 horas
Sistema de evacuación de lodos	2 horas

**GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN**

## SEPARADORA DE ACEITE "A" DE LA PLANTA DE GENERACIÓN

CPF – AGIP OIL ECUADOR

### ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de complementar los datos existentes en la bitácora de operación y mantenimiento de la planta de generación. (FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

1. Por favor indique su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia.

TECNICO ELECTRICO 8 AÑOS.

2. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento preventivo de 500h del equipo sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

8 HORAS

3. Según su criterio. ¿Cuántas horas tardaría realizar el mantenimiento correctivo de los siguientes sistemas de la separadora de aceite sin considerar demoras logísticas, falta de personal, repuestos o herramientas?

Sistema	Tiempo de reparación (h)
Sistema de alimentación de aceite	5
Sistema de calentamiento	8
Sistema de accionamiento	16
Tambor	20
Sistema de control automático	12
Sistema de evacuación de lodos	8

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

**REGISTRO DE ENTREVISTAS AL PERSONAL  
DE MANTENIMIENTO DE PLANTA DE GENERACIÓN AGIP OIL ECUADOR**

TEMA (Aspectos del mantenimiento de la separadora de aceite CF41-CG1-001A)

FECHA: 2016/05/12

N°	NOMBRE Y APELLIDO	CÉDULA DE IDENTIDAD	CARGO	FIRMA
1	Andrés Giraldo	1801632603	OPERADOR LEADER	
2	Mecánico Toupart	780264528-6	Mecánico	
3	Denny Yagual C	070345417-3	Tec. Mecánico.	
4	Jorge Pico	1802403434	USOER MECANICO	
5	SANTIAGO FIERRO	0602926248	TECNICO ELECTRIC	
6	Lino Guerrero	0602915084	Tecnico Mecanico	
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				

**Anexo E.** Listado de fallas y tiempo de mantenimiento correctivo.

Evento	Fecha	Horas	Fallo	Impacto del fallo en el equipo	Impacto del fallo en las operaciones	Modo de fallo	Subunidad en fallo	UT	DT
1	2009-04-09	66521	Falla de la bomba de lodos	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla al arranque	Sistema de evacuación de lodos	2688	96
2	2009-07-04	68462	Falla de manguera de lodos	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla al arranque	Sistema de evacuación de lodos	1962	12
3	2009-07-19	68818	Liqueo de aceite	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	359	1
4	2009-10-30	71190	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	2390	2
5	2010-02-19	73653	Fallo del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	2482	14
6	2010-09-07	77991	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Tambor	4536	72
7	2010-10-13	78769	Cambio de porta strainer	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Baja presión	Sistema de alimentación de aceite	796	20
8	2010-12-03	80507	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	1762	2
9	2011-04-21	83064	Fallo del sello de la bola	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Tambor	2696	16
10	2011-11-07	87583	Fallo del sello de la bola.	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	4620	144
11	2011-11-17	87679	Falla del sello de la bola.	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	96	120
12	2011-12-06	87823	Falla de tapa del bowl	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	144	264
13	2012-04-17	90666	Faalla de calentadores	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla de la función	Sistema de calentamiento	2928	90
14	2012-06-14	91824	Fuga de lubricante de separadora	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	1302	48
15	2012-08-28	93503	Falla de bomba centripeta	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Baja presión	Tambor	1704	288
16	2012-09-18	93719	Falla de rodamiento del motor	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Sistema de accionamiento	216	24
17	2012-11-28	95391	Falla del embrague	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Sistema de accionamiento	1680	96
18	2012-12-03	95415	Falla del sello del bowl	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	24	96
19	2013-02-05	96202	Falla de la bomba centripeta	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Baja presión	Tambor	792	24
20	2013-02-16	96298	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	96	48
21	2013-02-28	96466	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga interna	Tambor	168	84
22	2013-03-05	96502	Falla del disco de gravedad	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Baja presión	Sistema de alimentación de aceite	36	120
23	2013-03-13	96574	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	72	96
24	2013-04-10	97078	Falla de rodamientos	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Sistema de accionamiento	504	24
25	2013-05-29	98196	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	1152	192
26	2013-07-06	98772	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	624	48
27	2013-07-12	98868	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	96	96
28	2013-11-10	100980	Falla de bomba de lodos	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla al arranque	Sistema de evacuación de lodos	2304	48
29	2014-02-03	102804	Fuga de aceite del carter	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	1992	24
30	2014-07-08	106044	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Tambor	3432	48
31	2014-10-13	107957	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	2280	48
32	2014-10-21	108101	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	144	24
33	2014-11-13	108557	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	528	36
34	2014-11-28	108857	Falla de coupling bomba	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Rotura	Sistema de alimentación de aceite	324	24
35	2015-01-03	109673	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	840	120
36	2015-05-09	111763	Falla del sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	2304	156
37	2015-05-15	111775	Fuga de aceite por carcasa	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	12	12
38	2015-06-24	112663	Falla de sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	948	60
39	2015-10-27	115167	Falla de sello de la bola	Indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	2664	108

**Anexo F.** Listado de intervenciones de mantenimiento planificado o preventivo

Evento de mantenimiento planificado	* Fecha	* Horómetro (h)	** Tiempo entre mantenimientos planificados UT (h)	*** Tiempo logístico de mantenimiento planificado (h)	**** Tiempo activo de mantenimiento planificado (h)	* Tiempo total de mantenimiento planificado(h)
1	2008-12-10	63987	459	0	9	9
2	2008-12-30	64459	472	0	8	8
3	2009-01-11	64744	285	0	3	3
4	2009-01-31	65215	471	0	9	9
5	2009-03-03	65878	663	0	9	9
6	2009-04-06	66473	595	0	5	5
7	2009-05-03	67021	548	0	4	4
8	2009-05-24	67515	494	0	10	10
9	2009-06-13	67970	455	0	7	7
10	2009-07-14	68699	729	0	3	3
11	2009-08-08	69223	524	0	3	3
12	2009-10-02	70528	1305	0	7	7
13	2009-10-22	71000	472	0	8	8
14	2009-11-11	71466	466	0	12	12
15	2009-12-02	71967	501	0	3	3
16	2009-12-23	72467	500	0	4	4
17	2010-03-13	74178	1711	0	3	3
18	2010-04-02	74655	477	0	3	3
19	2010-04-19	75056	401	0	7	7
20	2010-05-04	75413	357	0	3	3
21	2010-05-24	75890	477	0	3	3
22	2010-06-13	76106	216	62	10	72
23	2010-06-27	76370	264	86	10	96
24	2010-07-14	76700	330	0	6	6
25	2010-09-02	77895	1195	0	5	5
26	2010-09-23	78321	426	0	6	6
27	2010-10-11	78741	420	2	10	12
28	2010-11-06	79333	592	2	10	12
29	2010-12-29	79861	528	2	10	12
30	2011-02-03	81360	1499	1	10	11
31	2011-02-21	81768	408	62	10	72
32	2011-03-10	82108	340	10	10	20
33	2011-04-02	82636	528	26	10	36
34	2011-05-05	83376	740	62	10	72
35	2011-06-05	83909	533	0	7	7
36	2011-07-01	84524	615	0	9	9
37	2011-09-03	86052	1528	0	8	8
38	2011-10-04	86791	739	0	5	5
39	2012-01-06	88318	1527	0	9	9
40	2012-01-25	88767	449	0	7	7
41	2012-02-11	89151	384	0	60	60
42	2012-03-06	89688	537	0	3	3
43	2012-04-06	90426	738	0	6	6
44	2012-05-08	91092	666	2	10	12
45	2012-05-13	91188	96	86	10	96
46	2012-05-23	91332	144	26	10	36
47	2012-06-17	91860	528	2	10	12
48	2012-07-07	92337	477	0	3	3
49	2012-08-02	92951	614	0	10	10
50	2012-10-09	94219	1268	0	4	4
51	2012-10-28	94671	452	0	4	4
52	2012-12-23	95818	1147	0	5	5

Evento de mantenimiento planificado	* Fecha	* Horómetro (h)	** Tiempo entre mantenimientos planificados UT (h)	*** Tiempo logístico de mantenimiento planificado (h)	**** Tiempo activo de mantenimiento planificado (h)	* Tiempo total de mantenimiento planificado(h)
53	2013-04-27	97462	1644	14	10	24
54	2013-05-14	97860	398	0	10	10
55	2013-06-09	98268	408	38	10	48
56	2013-07-20	98964	696	14	10	24
57	2013-08-26	99324	360	14	10	24
58	2013-09-17	99828	504	14	10	24
59	2013-10-07	100284	456	38	10	48
60	2013-11-03	100884	600	62	10	72
61	2013-11-28	101364	480	14	10	24
62	2013-12-16	101772	408	14	10	24
63	2014-01-07	102276	504	110	10	120
64	2014-04-04	104220	1944	62	10	72
65	2014-05-19	105108	888	62	10	72
66	2014-06-16	105564	456	14	10	24
67	2014-07-03	105948	384	14	10	24
68	2014-07-26	106428	480	62	10	72
69	2014-08-14	106829	401	0	7	7
70	2014-08-22	106997	168	230	10	240
71	2014-09-19	107429	432	14	10	24
72	2014-10-10	107909	480	14	10	24
73	2014-11-03	108389	480	62	10	72
74	2014-11-24	108785	396	14	10	24
75	2014-12-16	109265	480	14	10	24
76	2015-01-27	110143	878	0	10	10
77	2015-01-29	110167	24	26	10	36
78	2015-03-10	111091	924	38	10	48
79	2015-05-02	111715	624	110	10	120
80	2015-06-21	112639	924	50	10	60
81	2015-07-23	113239	600	14	10	24
82	2015-08-07	113575	336	14	10	24
83	2015-08-27	113983	408	26	10	36
84	2015-10-16	115167	1184	66	10	76
85	2015-11-23	115707	540	38	10	48
86	2015-12-23	116379	672	50	10	60
*	Registrado en la bitácora de operación y mantenimiento					
**	Calculado a partir del horómetro registrado en la bitácora de operación y mantenimiento					
***	Calculado por la diferencia entre tiempo total y el tiempo activo de mantenimiento planificado					
****	Obtenido de encuesta realizada al personal de mantenimiento					

## Anexo G. Tiempo de mantenimiento preventivo ordenado

Evento	Tiempo entre mantenimientos planificados (h)	Tiempo activo de mantenimiento planificado (h)	Tiempo total de mantenimiento planificado (h)	Tiempo entre mantenimientos planificados ordenado de menor a mayor (h)	Tiempo activo de mantenimiento planificado ordenado de menor a mayor (h)	Tiempo total de mantenimiento planificado ordenado de menor a mayor (h)
1	459	9	9	24	3	3
2	472	8	8	96	3	3
3	285	3	3	144	3	3
4	471	9	9	168	3	3
5	663	9	9	216	3	3
6	595	5	5	264	3	3
7	548	4	4	285	3	3
8	494	10	10	330	3	3
9	455	7	7	336	3	3
10	729	3	3	340	3	3
11	524	3	3	357	4	4
12	1305	7	7	360	4	4
13	472	8	8	384	4	4
14	466	12	12	384	4	4
15	501	3	3	396	5	5
16	500	4	4	398	5	5
17	1711	3	3	401	5	5
18	477	3	3	401	5	5
19	401	7	7	408	6	6
20	357	3	3	408	6	6
21	477	3	3	408	6	6
22	216	10	72	408	7	7
23	264	10	96	420	7	7
24	330	6	6	426	7	7
25	1195	5	5	432	7	7
26	426	6	6	449	7	7
27	420	10	12	452	7	7
28	592	10	12	455	8	8
29	528	10	12	456	8	8
30	1499	10	11	456	8	8
31	408	10	72	459	9	9
32	340	10	20	466	9	9
33	528	10	36	471	9	9
34	740	10	72	472	9	9
35	533	7	7	472	9	9
36	615	9	9	477	10	10
37	1528	8	8	477	10	10
38	739	5	5	477	10	10
39	1527	9	9	480	10	10
40	449	7	7	480	10	11
41	384	60	60	480	10	12
42	537	3	3	480	10	12
43	738	6	6	480	10	12
44	666	10	12	494	10	12
45	96	10	96	500	10	12
46	144	10	36	501	10	12
47	528	10	12	504	10	20
48	477	3	3	504	10	24
49	614	10	10	524	10	24
50	1268	4	4	528	10	24
51	452	4	4	528	10	24
52	1147	5	5	528	10	24
53	1644	10	24	533	10	24
54	398	10	10	537	10	24
55	408	10	48	540	10	24
56	696	10	24	548	10	24
57	360	10	24	592	10	24
58	504	10	24	595	10	24
59	456	10	48	600	10	24
60	600	10	72	600	10	24
61	480	10	24	614	10	24
62	408	10	24	615	10	36
63	504	10	120	624	10	36

Evento	Tiempo entre mantenimientos planificados (h)	Tiempo activo de mantenimiento planificado (h)	Tiempo total de mantenimiento planificado (h)	Tiempo entre mantenimientos planificados ordenado de menor a mayor (h)	Tiempo activo de mantenimiento planificado ordenado de menor a mayor (h)	Tiempo total de mantenimiento planificado ordenado de menor a mayor (h)
64	1944	10	72	663	10	36
65	888	10	72	666	10	36
66	456	10	24	672	10	48
67	384	10	24	696	10	48
68	480	10	72	729	10	48
69	401	7	7	738	10	48
70	168	10	240	739	10	60
71	432	10	24	740	10	60
72	480	10	24	878	10	60
73	480	10	72	888	10	72
74	396	10	24	924	10	72
75	480	10	24	924	10	72
76	878	10	10	1147	10	72
77	24	10	36	1184	10	72
78	924	10	48	1195	10	72
79	624	10	120	1268	10	72
80	924	10	60	1305	10	72
81	600	10	24	1499	10	76
82	336	10	24	1527	10	96
83	408	10	36	1528	10	96
84	1184	10	76	1644	10	120
85	540	10	48	1711	12	120
86	672	10	60	1944	60	240

## Anexo H. Clasificación de fallas por subsistemas

Fecha	HOROMETRO	Impacto del fallo en el equipo	Impacto del fallo en las operaciones	Modo de fallo	Subunidad en fallo	Componente mantenible en fallo	Time to fail	Down Time	Tiempo de mantenimiento activo correctivo	Falla
1	1999-07-10	1296 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	1296	120	120	Falla del sello de la bola
2	2000-04-22	4080 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	2784	168	168	Falla del sello de la bola
3	2002-07-18	17856 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	13776	24	24	Falla del sello de la bola
4	2002-08-28	18792 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	936	24	24	Falla del sello de la bola
5	2004-01-02	27878 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	9086	24	24	Falla del sello de la bola
6	2004-01-07	27986 indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Tambor	Juego de platos	108	12	12	Falla por alta vibración
7	2004-07-27	31850 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	3864	24	24	Falla del sello de la bola
8	2005-07-23	39344 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	7494	60	60	Fallo del sello de la bola
9	2005-09-05	40327 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	983	26	26	Falla por alta vibración
10	2005-10-13	41069 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	742	10	10	Fallo del sello de la bola
11	2006-10-17	49414 indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Tambor	Juego de platos	8345	54	54	Fallo por alta vibración.
12	2007-07-14	53054 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	3640	72	72	Falla del sello de la bola
13	2007-07-19	53102 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	48	72	72	Falla del sello de la bola
14	2007-11-15	55761 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	2659	72	72	Falla de sello de la bola
15	2007-12-12	56158 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	397	3	3	Falla del sello de la bola
16	2007-12-18	56278 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	120	36	36	Falla del sello de la bola
17	2008-01-19	56839 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	561	24	24	Falla del sello de la bola
18	2008-02-04	57199 indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Baja presión	Tambor	Rodete centrípeta	360	60	60	Falla por baja presión
19	2008-06-24	60471 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	3272	36	36	Falla del sello de la bola
20	2008-08-07	61296 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	825	24	24	Falla del sello de la bola
21	2008-08-12	61392 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	96	24	24	Falla del sello de la bola
22	2008-08-14	61416 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	24	36	36	Falla del sello de la bola
23	2008-08-18	61476 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	60	144	144	Falla del sello de la bola
24	2008-08-28	61572 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	96	36	36	Falla del sello de la bola
25	2008-12-05	63876 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	2304	12	12	Falla del sello de la bola
26	2009-10-30	71190 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	7314	2	2	Falla del sello de la bola
27	2010-02-19	73653 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	2463	14	14	Falla del sello de la bola
28	2010-09-07	77991 indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Tambor	Juego de platos	4338	72	72	Falla del sello de la bola
29	2010-12-03	80507 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	2516	2	2	Falla del sello de la bola
30	2011-04-21	83064 indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Tambor	Juego de platos	2557	16	16	Fallo del sello de la bola
31	2011-11-07	87583 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	4519	144	144	Falla del sello de la bola
32	2011-11-17	87679 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	96	120	120	Falla del sello de la bola.
33	2012-08-28	93503 indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Baja presión	Tambor	Rodete centrípeta	5824	288	288	Falla de bomba centrípeta
34	2012-12-03	95415 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	1912	96	96	Falla del sello del bowl
35	2013-02-05	96202 indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Baja presión	Tambor	Rodete centrípeta	787	24	24	Falla de la bomba centrípeta
36	2013-02-16	96298 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	96	48	48	Falla del sello de la bola
37	2013-02-28	96466 indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	168	84	84	Falla del sello de la bola
38	2013-03-13	96574 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	108	96	96	Falla del sello de la bola
39	2013-05-29	98196 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	1622	192	192	Falla del sello de la bola
40	2013-07-06	98772 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	576	48	48	Falla del sello de la bola
41	2013-07-12	98868 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	96	96	96	Falla del sello de la bola
42	2014-07-08	106044 indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Tambor	Juego de platos	7176	48	48	Falla del sello de la bola
43	2014-10-13	107957 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	1913	48	48	Falla del sello de la bola
44	2014-10-21	108101 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	144	24	24	Falla del sello de la bola
45	2014-11-13	108557 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	456	36	36	Falla del sello de la bola
46	2015-01-03	109673 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	1116	120	120	Falla del sello de la bola
47	2015-05-09	111763 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	2090	156	156	Falla del sello de la bola
48	2015-06-24	112663 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Sistema cierre apertura	900	60	60	Falla de sello de la bola
49	2015-10-27	115167 indisponibilidad	Perdida de producto	Fuga interna	Tambor	Empaquetadura	2504	108	108	Falla de sello de la bola
							DT Total	3139		

Fecha	HOROMETRO	Impacto del fallo en el equipo	Impacto del fallo en las operaciones	Modo de fallo	Subunidad en fallo	Componente mantenible en fallo	Time to fail	Down Time	Tiempo de mantenimiento activo correctivo	Falla
1 2007-11-10	55665	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Rotura	Sistema de alimentación de aceite	Manguera de alimentació	55665	2	2	Rotura de manguera
2 2008-09-08	61800	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Rotura	Sistema de alimentación de aceite	Manguera de alimentació	6135	24	24	Fuga de aceite por manguera
3 2010-10-13	78769	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Baja presión	Sistema de alimentación de aceite	Strainer aceite	16969	20	20	Cambio de porta strainer
4 2013-03-05	96502	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Baja presión	Sistema de alimentación de aceite	Disco de gravedad	17733	120	120	Falla del disco de gravedad
5 2014-11-28	108857	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Rotura	Sistema de alimentación de aceite	Acople flexible motor bo	12355	24	24	Falla de coupling bomba
						DT Total		190		
Fecha	HOROMETRO	Impacto del fallo en el equipo	Impacto del fallo en las operaciones	Modo de fallo	Subunidad en fallo	Componente mantenible en fallo	Time to fail	Down Time	Tiempo de mantenimiento activo correctivo	Falla
1 1999-06-09	648	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	Retenedor de aceite	648	96	96	Fuga de aceite carter
2 2000-09-29	6720	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	Retenedor de aceite	6072	24	24	Fuga de aceite del carter de la separadora
3 2000-12-05	8136	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	Retenedor de aceite	1416	48	48	Fuga de aceite carter
4 2001-03-08	10248	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Sistema de accionamiento	Rodamiento	2112	24	24	Falla de rodamientos
5 2001-03-18	10464	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Sistema de accionamiento	Rodamiento	216	48	48	Falla por alta vibración
6 2003-12-28	27782	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Rotura	Sistema de accionamiento	Banda de transmisión	17318	24	24	Falla banda de transmisión
7 2005-05-01	37406	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla de la func	Sistema de accionamiento	Motor eléctrico	9624	5	5	Cambio motor separadora
8 2005-09-22	40579	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Rotura	Sistema de accionamiento	Banda de transmisión	3173	10	10	Falla por rotura de banda
9 2009-07-19	68818	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	Retenedor de aceite	28239	1	1	Liqueo de aceite
10 2011-12-06	87823	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	Retenedor de aceite	19005	264	264	Falla de tapa del bowl
11 2012-06-14	91824	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	Retenedor de aceite	4001	48	48	Fuga de lubricante de separadora.
12 2012-09-18	93719	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Sistema de accionamiento	Rodamiento	1895	24	24	Falla de rodamiento superior del motor
13 2012-11-28	95391	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Sistema de accionamiento	Embrague	1672	96	96	Falla del embrague
14 2013-04-10	97078	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Vibración	Sistema de accionamiento	Rodamiento	1687	24	24	Falla de rodamientos. Limallas en el carter
15 2014-02-03	102804	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	Retenedor de aceite	5726	24	24	Fuga de aceite del carter separadora
16 2015-05-15	111775	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Fuga externa	Sistema de accionamiento	Retenedor de aceite	8971	12	12	Fuga de aceite por carcasa
						DT Total		772		
Fecha	HOROMETRO	Impacto del fallo en el equipo	Impacto del fallo en las operaciones	Modo de fallo	Subunidad en fallo	Componente mantenible en fallo	Time to fail	Down Time	Tiempo de mantenimiento activo correctivo	Falla
1 2003-06-11	24206	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Error de salida	Sistema de calentamiento	Controlador de temperat	24206	10	10	Falla del calentador de aceite
2 2008-05-22	59706	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla de la func	Sistema de calentamiento	Resistencias eléctricas	35500	6	6	Falla de calentadores
3 2012-04-17	90666	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla de la func	Sistema de calentamiento	Resistencias eléctricas	30960	90	90	Faalla de calentadores
						DT Total		106		
Fecha	HOROMETRO	Impacto del fallo en el equipo	Impacto del fallo en las operaciones	Modo de fallo	Subunidad en fallo	Componente mantenible en fallo	Time to fail	Down Time	Tiempo de mantenimiento activo correctivo	Falla
1 1999-08-24	2040	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Error de salida	Sistema de control automático	PLC	2040	168	168	Falla del modulo de ccontrol
2 2008-11-01	63075	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Error de salida	Sistema de control automático	PLC	61035	3	3	Falla de controlador
						DT Total		171		

	Fecha	HOROMETRO	Impacto del fallo en el equipo	Impacto del fallo en las operaciones	Modo de fallo	Subunidad en fallo	Componente mantenible en fallo	Time to fail	Down Time	Tiempo de mantenimiento activo correctivo	Falla
1	1999-07-23	1488	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla al arranq	Sistema de evacuación de lodos	Bomba de lodos	1488	48	48	Falla bomba de lodos
2	1999-10-03	2232	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla al arranq	Sistema de evacuación de lodos	Bomba de lodos	744	72	72	Falla de la bomba de lodos
3	2008-04-24	59050	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla de la func	Sistema de evacuación de lodos	Relé de control	56818	3	3	Falla de arranque de bomba
4	2009-04-09	66521	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla al arranq	Sistema de evacuación de lodos	Bomba de lodos	7471	96	96	Falla de la bomba de lodos
5	2009-07-04	68462	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla al arranq	Sistema de evacuación de lodos	Bomba de lodos	1941	12	12	Falla de manguera de lodos
6	2013-11-10	100980	Indisponibilidad	Acumulación de contaminantes en aceite	Falla al arranq	Sistema de evacuación de lodos	Bomba de lodos	32518	48	48	Falla de bomba de lodos
								DT Total	279		