



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“ANÁLISIS DE FIABILIDAD EN EL GRUPO DE
BOMBEO P-303 DE LA ESTACIÓN FAISANES DEL
POLIDUCTO ESMERALDAS - SANTO DOMINGO –
QUITO - MACUL DE LA EMPRESA PÚBLICA EP-
PETROECUADOR”**

JUAN PABLO MURILLO FAJARDO

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2011

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Diciembre 15 de 2011

Fecha

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

JUAN PABLO MURILLO FAJARDO

Titulada: "ANÁLISIS DE FIABILIDAD EN EL GRUPO DE BOMBEO P-303 DE LA ESTACIÓN FAISANES DEL POLIDUCTO ESMERALDAS – SANTO DOMINGO – QUITO – MACUL DE LA EMPRESA PÚBLICA EP – PETROECUADOR".

Sea aceptada como parcial complementación de los requisitos para la obtención del título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

f) Decano de la Facultad de Mecánica.

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) Director de Tesis

f) Asesor Tesis.

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

Nombre del estudiante: JUAN PABLO MURILLO FAJARDO

TÍTULO DE LA TESIS: "ANÁLISIS DE FIABILIDAD EN EL GRUPO DE BOMBEO P-303 DE LA ESTACIÓN FAISANES DEL POLIDUCTO ESMERALDAS – SANTO DOMINGO – QUITO – MACUL DE LA EMPRESA PÚBLICA EP – PETROECUADOR".

Fecha de Examinación: Diciembre 15 de 2011.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN

Comité de Examinación	Aprueba	No aprueba	Firma
<i>Ing. Eduardo Vásquez B.</i>			
<i>Ing. Washington Zabala M.</i>			
<i>Dr. José Granizo</i>			

Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Diciembre 15 de 2011

Fecha

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

JUAN PABLO MURILLO FAJARDO

Titulada: "ANÁLISIS DE FIABILIDAD EN EL GRUPO DE BOMBEO P-303 DE LA ESTACIÓN FAISANES DEL POLIDUCTO ESMERALDAS – SANTO DOMINGO – QUITO – MACUL DE LA EMPRESA PÚBLICA EP – PETROECUADOR".

Sea aceptada como parcial complementación de los requisitos para la obtención del título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

f) Decano de la Facultad de Mecánica.

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) Director de Tesis

f) Asesor Tesis.

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

Nombre del estudiante: **JUAN PABLO MURILLO FAJARDO**

TÍTULO DE LA TESIS: "ANÁLISIS DE FIABILIDAD EN EL GRUPO DE BOMBEO P-303 DE LA ESTACIÓN FAISANES DEL POLIDUCTO ESMERALDAS – SANTO DOMINGO – QUITO – MACUL DE LA EMPRESA PÚBLICA EP – PETROECUADOR".

Fecha de Examinación: Diciembre 15 de 2011.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN

Comité de Examinación	Aprueba	No aprueba	Firma
<i>Ing. Eduardo Vásquez B.</i>			
<i>Ing. Washington Zabala M.</i>			
<i>Dr. José Granizo</i>			

Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

Las ideas expuestas en el presente trabajo de tesis es original y establecido en un proceso de investigación y adaptación tecnológica realizado en el Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito - Macul de la Gerencia de Almacenamiento y Transporte de la empresa pública EP PETROECUADOR; por lo tanto, los fundamentos teóricos – prácticos y los resultados obtenidos en dicha investigación, son en su totalidad de absoluta responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Juan Pablo Murillo Fajardo

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a mis Padres que con su sacrificio hicieron posible la culminación de uno más de mis sueños y por haberme permitido superarme y encontrar nuevas alternativas de desarrollo social que justifican mi formación profesional.

A la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a sus profesionales docentes por brindarme sus conocimientos y por compartir sus experiencias a través de sus enseñanzas.

A mis amigos y compañeros que hemos compartido nuestra vida estudiantil, por brindarme su amistad y apoyo incondicional tanto en los momentos de alegría, como en los momentos difíciles.

A los trabajadores del Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito - Macul por brindarme continuamente su apoyo y que con sus conocimientos y experiencias han contribuido para la realización del presente documento.

Juan Pablo Murillo Fajardo

DEDICATORIA

Dedico este proyecto y mi carrera profesional a mis padres y a toda mi familia quienes han estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me presenten, ayudándome a entender que los fracasos son simples obstáculos que la vida nos pone para saber hasta qué punto estamos decididos a luchar.

Juan Pablo Murillo Fajardo

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es un análisis de fiabilidad en el Grupo de Bombeo P-303 de la Estación Faisanes del Poliducto Esmeraldas - Santo Domingo – Quito - Macul de Empresa Pública EP- PETROECUADOR, con la finalidad de establecer un modelo matemático estadístico que permita predecir su correcto funcionamiento a lo largo de su vida útil, así como optimizar su programa de mantenimiento.

Para el análisis de fiabilidad se utilizó el modelo de distribución probabilístico de Weibull y el software Fiasoft a través de los cuales se ha establecido los modelos matemáticos estadísticos de predicción de los índices de fiabilidad en el grupo de bombeo.

La investigación de campo se realizó en la Estación Faisanes mediante el estudio de fichas técnicas y datos de operación de los equipos registrados en la bitácora de mantenimiento.

Por medio de este trabajo investigativo, se ha logrado conocer el comportamiento de los sistemas, subsistemas, componentes y elementos que conforman el grupo de bombeo desde el punto de vista de la Fiabilidad en base al tratamiento de los datos de fallos que se producen.

Además se comprueba que estos índices de fiabilidad permiten controlar totalmente la gestión y operación del mantenimiento que se emplea en la Estación, actuando con estrategias y acciones a partir de hechos reales, por medio del historial de fallos y pronosticando el comportamiento en un tiempo futuro, lo cual permite un control integral para poder anticiparse a los hechos que podrían suceder.

ABSTRACT

The main goal is to analyze the reliability in Pumping Group P-303 of the Fais Station of Esmeraldas-Santo Domingo-Quito-Macul Public Company EP-PETROECUADOR Pipeline, with the purpose to establish the mathematical statistical models that allow a correct operation throughout its useful life, also, to optimize its maintenance program.

For this reliability analysis were used probabilistic distribution Weibull model and Fiasoft software through which was established mathematical statistical models of prediction about the reliability index in the pump group.

The field research was carried out at Faisanes Station by studying technical file cards and data sheets about the equipments register in maintenance records.

This investigation allowed us to know the behavior of systems, sub-systems, components, and elements of the pumping group from the point of view of reliability based on the data processing failures that occurred.

In conclusion, it was found that those reliability indexes allow a management complete control and maintenance operation which is used in the station, acting with strategies and actions based on real events, by means the failure history and predicting behavior in future time, which allows an integral control to be able to anticipate at future fact.

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Fiabilidad y su importancia en las empresas.....	4
2.2	Modelos de distribución de probabilidad.....	5
2.2.1	Distribución de Weibull.....	5
2.2.1.1	Función densidad de probabilidad de fallo $f(t)$	6
2.2.1.2	Función tasa de fallo $\lambda(t)$	7
2.2.1.3	Función probabilidad de trabajo sin fallo o fiabilidad $R(t)$	8
2.2.1.4	Función probabilidad de trabajo con fallo o Infiabilidad $F(t)$	8
2.2.1.5	Tiempo medio entre fallos (TMEF)	9
2.2.1.6	Duración de vida (t) asociada a un nivel de fiabilidad $R(t)$	9
2.3	Curva de Davies (de Bañera) asociada al mantenimiento.....	12
2.3.1	Periodo de infancia.....	13
2.3.2	Periodo de vida útil.....	14
2.3.3	Periodo de desgaste.....	15
2.4	Determinación de los parámetros de Weibull.....	17
2.4.1	Determinación analítica.....	18
2.4.2	Determinación estadística computarizada.....	21
2.4.2.1	Software: FIASOFT.....	21
2.5	Estructuras de sistemas.....	21
2.5.1	Sistema serie.....	22
2.5.2	Sistema paralelo.....	23
2.5.3	Sistema combinado.....	24
2.5.4	Sistema redundante.....	25

3. GRUPOS DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN FAISANES

3.1	Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito – Macul.....	27
3.1.1	Productos transportados.....	28
3.1.2	Descripción de tramos.....	28
3.2	Estación de bombeo Faisanes.....	29
3.2.1	Sistema de funcionamiento de los grupos de bombeo.....	32
3.2.2	Operación del grupo.....	33
3.2.3	Sistema Scada.....	34
3.3	Sistemas, subsistemas y componentes.....	35
3.3.1	Motor MWM (Motoren Werke Mannheim).....	37
3.3.1.1	Elementos mecánicos.....	39
3.3.1.1.1	Elementos estáticos.....	39
3.3.1.1.2	Elementos dinámicos.....	42
3.3.1.1.3	Elementos de distribución.....	43
3.3.1.2	Sistema de alimentación de combustible.....	45
3.3.1.3	Sistema de lubricación.....	48
3.3.1.4	Sistema de refrigeración.....	50
3.3.1.5	Sistema de arranque.....	52
3.3.1.6	Sistema de admisión y escape.....	54
3.3.2	Incrementador de velocidades CITROEN - MESSIAN.....	55
3.3.2.1	Elementos mecánicos.....	56
3.3.2.1.1	Elementos estáticos.....	56
3.3.2.1.2	Elementos de distribución.....	57
3.3.2.2	Sistema de lubricación.....	58
3.3.2.3	Sistema de refrigeración.....	59
3.3.3	Bomba Guinard.....	59
4.	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES DE FIABILIDAD	
4.1.	Determinación de los índices de fiabilidad.....	64
4.1.1	Metodología.....	64
4.2	Determinación de la fallas en el grupo de bombeo.....	65
4.2.1	Registro de fallas en el motor.....	65
4.2.2	Registro de fallas en el incrementador.....	66

4.2.3	Registro de fallas en la bomba.....	67
4.3	Determinación del tiempo de buen funcionamiento en el grupo de bombeo....	68
4.3.1	Determinación del tiempo de buen funcionamiento en el sistema de potencia..	69
4.3.2	Determinación del tiempo de buen funcionamiento en el sistema de transmisión.....	70
4.3.3	Determinación del tiempo de buen funcionamiento en el sistema de bombeo..	70
4.4	Determinación de los parámetros e índices de fiabilidad.....	71
4.4.1	Sistema de potencia: Motor.....	71
4.4.1.1	Funciones de los índices de fiabilidad.....	75
4.4.2	Sistema de transmisión: Incrementador.....	76
4.4.2.1	Funciones de los índices de fiabilidad.....	80
4.4.3	Sistema de bombeo: Bomba.....	82
4.4.3.1	Funciones de los índices de fiabilidad.....	86
4.5	Cálculo de la fiabilidad e in fiabilidad del grupo de bombeo.....	87
4.5.1	Fiabilidad total en el grupo de bombeo.....	87
4.5.2	Infiabilidad total en el grupo de bombeo.....	88
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1.	Resultados.....	89
5.2.	Discusión.....	92
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1.	Conclusiones.....	97
6.2.	Recomendaciones.....	99

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FORMA WEIBULL ASOCIADOS A LA CURVA DE LA BAÑERA CON EL MANTENIMIENTO.....	17
2.2	CÁLCULO DE LOS DATOS PARA OBTENER A Y B.....	19
3.1	PRODUCTOS TRANSPORTADOS POR EL POLIDUCTO E-SD-Q-M.....	28
3.2	DESCRIPCIÓN DE TRAMOS DEL POLIDUCTO E-SD-Q-M.....	28
3.3	SETPOINTS DE PROCESO EN EL GRUPO P-303.....	35
3.4	DIMENSIONES PRINCIPALES Y PESO DEL MOTOR.....	38
3.5	FICHA TÉCNICA DEL M.C.I.DEL GRUPO P-303.....	38
3.7	FICHA TÉCNICA DEL INCREMENTADOR DEL GRUPO P-303.....	55
4.1	REGISTRO DE FALLAS EN EL MOTOR.....	67
4.2	REGISTRO DE FALLAS EN EL INCREMENTADOR.....	68
4.3	REGISTRO DE FALLAS EN LA BOMBA.....	69
4.4	TIEMPO DE BUEN FUNCIONAMIENTO EN EL SISTEMA DE POTENCIA.....	70
4.5	TIEMPO DE BUEN FUNCIONAMIENTO EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	71
4.6	TIEMPO DE BUEN FUNCIONAMIENTO EN EL SISTEMA DE BOMBEO.....	72
5.1	PARÁMETROS E ÍNDICES DE FIABILIDAD EN EL GRUPO DE BOMBEO P-303.....	92
5.2	ÍNDICES DE FIABILIDAD EN EL SISTEMA DE POTENCIA.....	93
5.3	ÍNDICES DE FIABILIDAD EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	93
5.4	ÍNDICES DE FIABILIDAD EN EL SISTEMA DE BOMBEO.....	93
5.5	FIABILIDAD E INFIABILIDAD EN EL GRUPO DE BOMBEO.....	94

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	Densidad de probabilidad de fallo de la distribución de Weibull.....	7
2.2	Tasa de fallos de la distribución de Weibull.....	7
2.3	Fiabilidad de la distribución de Weibull.....	8
2.4	Variación de la densidad de probabilidad.....	9
2.5	Variación de la tasa de fallos.....	10
2.6	Variación de la densidad de probabilidad.....	10
2.7	Curva de Davies o bañera asociada a conceptos de falla y mantenimiento.....	12
2.8	Software: FIASOFT.....	21
2.9	Sistema en serie.....	22
2.10	Sistema en paralelo.....	23
2.11	Sistema combinado.....	24
2.12	Sistema equivalente (a).....	24
2.13	Sistema equivalente (b).....	24
2.14	Sistema redundante.....	25
2.15	Sistema redundante.....	26
3.1	Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo-Quito-Macul.....	27
3.2	Perfil altimétrico del poliducto E-SD-Q.....	29
3.3	Estación de bombeo Faisanes.....	30
3.4	Estación Faisanes.....	30
3.5	Grupos de bombeo de la estación Faisanes.....	31
3.6	Grupo de bombeo (motor-incrementador-bomba).....	32
3.7	Diagrama de flujo-estación.....	32
3.8	Niveles de estructura jerárquica.....	34
3.9	Motor de combustión interna TDB-440 8k.....	37
3.10	Dimensiones principales del motor.....	37
3.11	Cárter del motor.....	40

3.12	Block del motor.....	40
3.13	Culata.....	41
3.14	Mecanismo del cigüeñal.....	42
3.15	Cigüeñal.....	43
3.16	Accionamiento de engranajes.....	44
3.17	Sistema de combustible.....	46
3.18	Regulación del número de revoluciones.....	47
3.19	Sistema de lubricación.....	49
3.20	Sistema de refrigeración.....	51
3.21	Sistema de arranque.....	53
3.22	Incrementador Citroen-Messian.....	55
3.23	Carcasa del incrementador.....	56
3.25	Sistema de lubricación.....	59
3.26	Sistema de refrigeración.....	60
3.27	Bomba multi-etapa de 5 etapas tipo BB3 marca Guinard.....	60
3.28	Cuerpo de la bomba Guinard.....	62
3.29	Semicuerpo de la bomba Guinard.....	62
3.30	Rodetes de la bomba Guinard.....	64
4.1	Cálculo de la infiabilidad no paramétrica en el sistema de potencia.....	73
4.2	Probabilidad-Weibull en el sistema de potencia.....	73
4.3	Parámetros de fiabilidad en el sistema de potencia.....	74
4.4	Fiabilidad vs. Tiempo en el sistema de potencia.....	74
4.5	Infiabilidad vs. Tiempo en el sistema de potencia.....	75
4.6	Función de densidad de probabilidad en el sistema de potencia.....	75
4.7	Tasa de fallas vs. Tiempo en el sistema de potencia.....	76
4.8	Índices de fiabilidad para un tiempo de 1069 horas en el sistema de potencia.....	77
4.9	Cálculo de la infiabilidad no paramétrica en el sistema de transmisión.....	78
4.10	Probabilidad-Weibull en el sistema de transmisión.....	79
4.11	Parámetros de fiabilidad en el sistema de transmisión.....	79

4.12	Fiabilidad vs. Tiempo en el sistema de transmisión.....	80
4.13	Infiabilidad vs. Tiempo en el sistema de transmisión.....	80
4.14	Función de densidad de probabilidad en el sistema de transmisión.....	81
4.15	Tasa de fallas vs. Tiempo en el sistema de transmisión.....	81
4.16	Índices de fiabilidad para un tiempo de 1069 horas en el sistema de transmisión....	83
4.17	Cálculo de la infiabilidad no paramétrica en el sistema de bombeo.....	83
4.18	Probabilidad-Weibull en el sistema de bombeo.....	84
4.19	Parámetros de fiabilidad en el sistema de bombeo.....	85
4.20	Fiabilidad vs. Tiempo en el sistema de bombeo.....	85
4.21	Infiabilidad vs. Tiempo en el sistema de bombeo.....	86
4.22	Función de densidad de probabilidad en el sistema de bombeo.....	86
4.23	Tasa de fallas vs. Tiempo en el sistema de bombeo.....	87
4.24	Índices de fiabilidad para un tiempo de 1069 horas en el sistema de bombeo.....	88

LISTA DE ABREVIACIONES

A	Amperios
API	American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo)
Nm	Newton-metro
PSI	Pounds per Square Inch (Libras por Pulgada Cuadrada)
PMS	Punto Muerto Superior
RPM	Revoluciones Por Minuto
Seg	Segundos
TDB	Motor Diesel con Turbocargador
V	Voltaje
°C	Grados Centígrados
°F	Grados Farengeith
F(t)	Probabilidad de Fallo
R(t)	Función de Fiabilidad o Probabilidad de trabajo sin Fallo
F(t)	Función Densidad o de Probabilidad de Fallo
$\lambda(t)$	Función Tasa de Fallos
TMEF	Tiempo Medio Entre Fallos
(t)	Duración de Vida
Z	Instante de Fallo
T	Tiempo
A	Parámetro de escala
B	Parámetro deforma
t_0	Tiempo Inicial o parámetro de localización
TBF	Tiempo de Buen Funcionamiento

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1:** Tabla para determinar el valor de b
- ANEXO 2:** Setpoints de proceso
- ANEXO 3:** Diagrama de flujo de la estación faisanes
- ANEXO 4:** Registro de datos de campo
- ANEXO 5:** Registro de datos de campo
- ANEXO 6:** Grupo de bombeo P- 303
- ANEXO 7:** Bitácora del grupo P-303
- ANEXO 8:** Tabla y diagrama de pareto en el sistema de potencia
- ANEXO 9:** Tabla y diagrama de pareto en el sistema de transmisión
- ANEXO 10:** Tabla y diagrama de pareto en el sistema de bombeo

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En el poliducto Esmeraldas – Quito, en la estación Faisanes, se cuenta con tres grupos de bombeo, las cuales se utiliza para transportar los derivados del petróleo, desde la Estación Santo Domingo hacia la Estación Corazón.

Estos grupos de bombeo trabajan las 24 horas del día, los 365 días del año, por lo que cuentan con una alta disponibilidad, ya que su paralización provocaría el desabastecimiento de derivados del petróleo a la zona norte del país.

Estos grupos iniciaron su operación de bombeo en el año de 1980, sin embargo, en estos últimos años, el grupo de bombeo P-303 de la Estación Faisanes ha producido fallas muy frecuentes y en algunos casos repetitivos, por lo que se realiza cambios de elementos que no han cumplido su ciclo de vida útil, elevando de esta manera los costos de mantenimiento.

Por lo tanto, se ha considerado importante llevar a cabo un análisis de fiabilidad en el grupo de bombeo P-303 de la estación Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito – Macul de la empresa pública EP PETROECUADOR, en base al historial de fallos con el objeto de determinar su etapa de vida, predecir su correcto funcionamiento y optimizar su programa de mantenimiento.

El análisis de fiabilidad se basa en la distribución de probabilidades de Weibull y el uso del paquete informático Fiasoft, que permite establecer los modelos matemáticos de predicción de la fiabilidad a través de sus índices en el grupo de bombeo P-303.

1.2. Justificación

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

La necesidad e importancia que se presenta actualmente en nuestro país, es que solo seguimos con una mentalidad de un mantenimiento planificado, es decir, un cambio rutinario de piezas, sin tomar en cuenta muchos factores que en la actualidad existen, esto conlleva a paradas innecesarias de los equipos y de la producción, por ende, pérdidas económicas no deseadas en las empresas.

Para ello es necesario mantener los equipos en disponibilidad total, para lo cual requerimos realizar un análisis de fiabilidad que nos permita obtener datos que informen sobre el comportamiento de este, a lo largo de su vida útil en diferentes condiciones de trabajo y ambientales.

Por lo expuesto anteriormente, se ve la necesidad de realizar un análisis de fiabilidad en el grupo de bombeo P-303 de la estación Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito – Macul de la empresa pública EP PETROECUADOR, en base al historial de fallos con el objeto de determinar en que etapa de vida se encuentra el grupo de bombeo, predecir su correcto funcionamiento y optimizar su programa de mantenimiento.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar un análisis de fiabilidad en el grupo de bombeo P-303 de la Estación Faisanes del Poliducto Esmeraldas - Santo Domingo – Quito - Macul de la Empresa Pública EP-PETROECUADOR.

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer la referencia teórica de la Fiabilidad.
- Conocer el grupo de bombeo: Función, sistemas, subsistemas y componentes.
- Determinar los índices de fiabilidad.
- Utilizar el software Fiasoft.
- Analizar las gráficas del software Fiasoft.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fiabilidad y su importancia en las empresas

Se entiende por fiabilidad a la probabilidad de que un equipo, sistema, entidad o componente proporcione satisfactoriamente las funciones por las cuales ha sido diseñado, durante un periodo de tiempo establecido y bajo condiciones normales de operación, así como ambientales y de entorno [1]. El fin último del análisis de fiabilidad es cambiar el mantenimiento correctivo, no programado y altamente costoso, por actividades preventivas planeadas que dependan del historial de los equipos, y permitan un adecuado control de costos [2].

Tal como se define, la fiabilidad es una probabilidad, y por lo tanto, es un valor comprendido entre (0 y 1), ya que es el resultado de dividir el número de veces de los casos o eventos a ser estudiados en relación con el número total posible de los casos o eventos.

Se debe tomar en consideración cuando un equipo se desempeña satisfactoriamente, es decir, diferenciar cuando el equipo está en normal funcionamiento y cuando éste entra en falla.

El tiempo es la variable aleatoria que puede ser medido en horas, días, meses o años y de acuerdo con el sistema también puede ser medido en número de ciclos de operación, kilómetros recorridos, entre otros.

En cuanto a las condiciones de operación, así como de ambiente y de entorno, incluyen factores como ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el medio ambiente, vibraciones, transporte, almacenamiento, cantidad de carga, entre otras.

2.2 Modelos de distribución de probabilidad [4]

La fiabilidad posee ciertos modelos de distribución, que sirven para predecir en una forma estadística el desempeño eficaz de un equipo. Las medidas de fiabilidad se encuentran en función del tiempo que tarda en fallar un artículo, su vida, no se puede determinar precisamente, por lo tanto es una variable aleatoria.

Las distribuciones que se encuentran más frecuentemente para la aplicación de la fiabilidad, y que caracterizan a poblaciones o eventos enteros en condiciones similares tenemos a:

- Distribución Exponencial.
- Distribución de Weibull
- Distribución de Poisson
- Distribución Gamma
- Distribución Binomial, entre otras.

2.2.1 Distribución de Weibull

La Distribución de Weibull es muy manejable y muy flexible, pues la ley tiene tres parámetros que permiten “ajustar” correctamente toda clase de resultados experimentales y operacionales. Su característica principal, es que su tasa de fallas λ , es variable y permite por tanto ajustarse a los periodos de “infancia”, de “juventud” y a las diferentes formas de “envejecimiento” de la curva de la bañera o de Davies.

La Distribución de Weibull posee en su forma general tres parámetros, lo que da una gran flexibilidad y cuya selección y ajuste adecuado permiten obtener mejores ajustes, que con otras distribuciones. Estos parámetros son:

Parámetro de posición (η).- Es el parámetro de referencia para el estudio de la fiabilidad. Es el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero.

Parámetro de vida útil (α).- Es la probabilidad de funcionamiento de un equipo antes de que se produzca una falla.

Parámetro de forma (β).- Determina en que etapa de vida se encuentra un equipo.

El parámetro de forma permite a la distribución de Weibull tomar diversas formas, en las cuales tenemos que cuando β es inferior a 1, se denomina a esta fase como de mortalidad infantil (tasa de fallo decreciente); cuando toma valores cercanos a 1 se describe la fase con el nombre de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria), y el evento del β toma valores mayores de 1, se conoce la fase como de envejecimiento o de desgaste (tasa de fallo creciente)

El método no determina cuáles son las variables que influyen en la tasa de fallos, tarea que quedará en manos del analista, pero al menos la distribución de Weibull facilitará la identificación de aquellos.

La función de densidad de la distribución de Weibull para la variable aleatoria t está dada por la siguiente expresión:

2.2.1.1 Función densidad de probabilidad de fallo $f(t)$:

La función de densidad de probabilidad de falla, describe la forma de la distribución de fallas con respecto al tiempo, se expresa de la siguiente manera:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} * \left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta} \quad (1)$$

Donde:

β = Parámetro de forma

α = Vida Característica

t = Tiempo en el cual se realiza el análisis

t_0 = Tiempo de inicio ($t_0=0$)

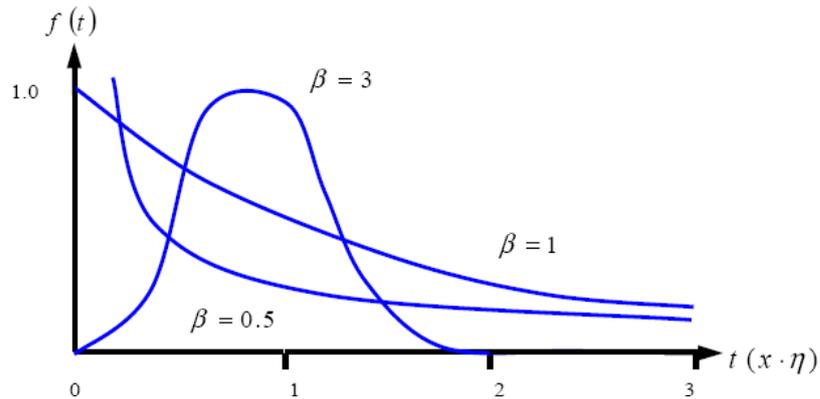


Figura 2.1: Densidad de Probabilidad de Fallo de la Distribución de Weibull

2.2.1.2 Función tasa de fallos $\lambda(t)$:

La tasa de falla es otra función usada con frecuencia en fiabilidad, además de las funciones de probabilidad definidas anteriormente. Ésta nos proporciona una tasa de falla instantánea en un momento (t), su modelo matemático se expresa de la siguiente manera:

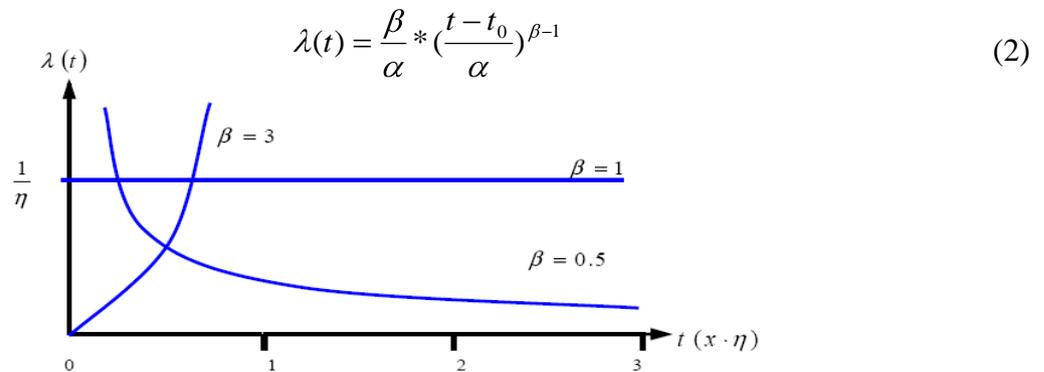


Figura 2.2: Tasa de Fallos de la Distribución de Weibull

2.2.1.3 Función probabilidad de trabajo sin fallo o fiabilidad R(t):

Es la probabilidad de trabajo sin fallo que tiene un artículo hasta un tiempo (t). Su fórmula se expresa así:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta} \quad (3)$$

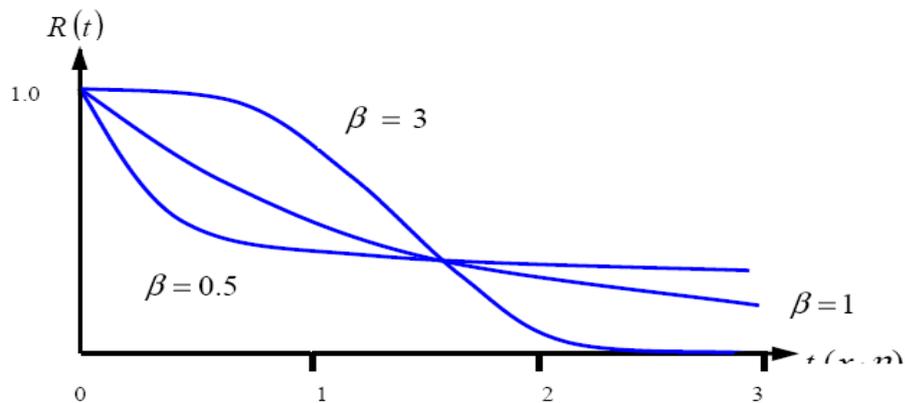


Figura 2.3: Fiabilidad de la Distribución de Weibull

2.2.1.4. Función probabilidad de trabajo con fallo o in fiabilidad F(t):

Es la probabilidad de que un equipo falle antes de un tiempo (t), la fórmula para su cálculo se expresa así:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta} \quad (4)$$

Estas fórmulas están dadas para las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} t - t_0 &> 0 \\ \alpha &\geq 0 \\ \beta &> 0 \end{aligned}$$

Cuando $(t - t_0) = \alpha$. Entonces:

$$R(t) = e^{-1} = 0,368 = 36,8\% \quad (5)$$

2.2.1.5. Tiempo medio entre fallos (TMEF):

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

$$TMEF = A * \alpha + t_0 \quad (6)$$

En donde:

A = constante que depende de β por Tablas (ver anexo 1)

T_0 = Tiempo inicial, que para nuestro caso es cero 0.

2.2.1.6. Duración de vida (t) asociada a un nivel de fiabilidad R(t)

$$t = t_0 + \alpha * Ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (7)$$

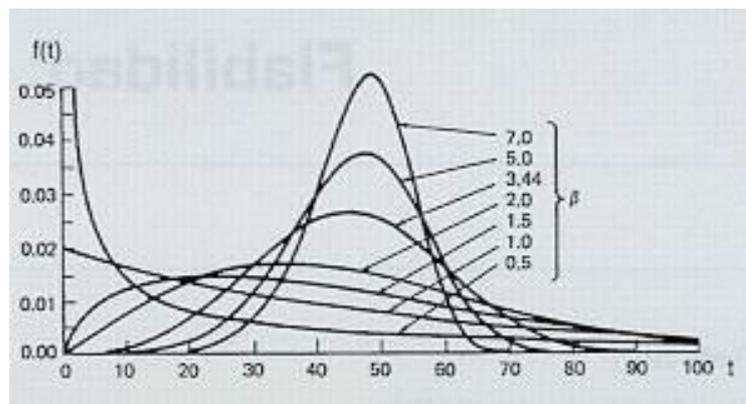


Figura 2.4: Variación de la Densidad de Probabilidad $f(t)$ en Función del Tiempo Para Distintos Valores del Parámetro de Forma β

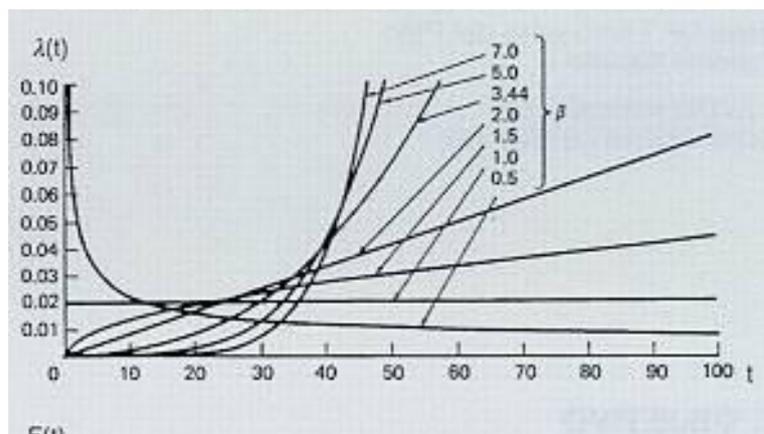


Figura 2.5: Variación de la Tasa de Fallos $\lambda(t)$ en Función del Tiempo Para Distintos Valores del Parámetro de Forma β

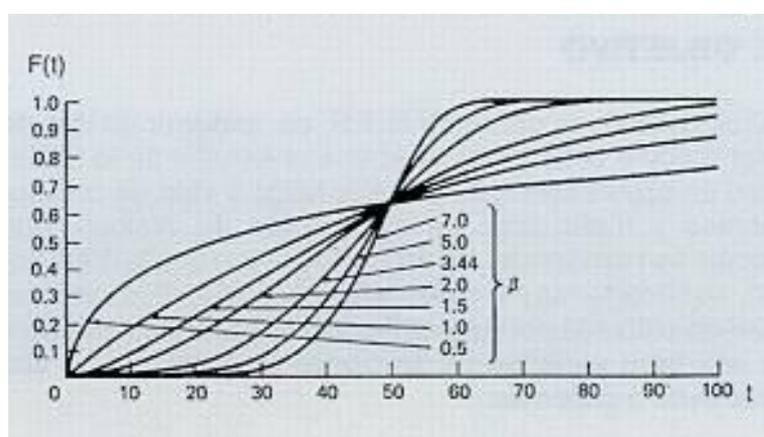


Figura 2.6: Variación de la Función Acumulativa de Fallos $F(t)$ en Función del Tiempo Para Distintos Valores del Parámetro de Forma β

En el estudio de la distribución se pueden dar las siguientes combinaciones de los parámetros de Weibull con mecanismos de fallo particulares:

- a. $T_0 = 0$: el mecanismo no tiene una duración de fiabilidad intrínseca, y:
 - Si $\beta < 1$ la tasa de fallos disminuye con la edad sin llegar a cero, por lo que podemos suponer que nos encontramos en la juventud del componente con un margen de seguridad bajo, dando lugar a fallos por tensión de rotura.

- Si $\beta = 1$ la tasa de fallo se mantiene constante siempre lo que nos indica una característica de fallos aleatoria o pesado - aleatoria. En este caso nos encontramos que la distribución de Weibull es igual a la Exponencial.
 - Si $\beta > 1$ la tasa de fallo se incrementa con la edad de forma continua lo que indica que los desgastes empiezan en el momento en que el mecanismo se pone en servicio.
 - Si $\beta = 3,44$ se cumple que la media es igual a la mediana y la distribución de Weibull es sensiblemente igual a la Normal.
- b. $T_0 > 0$: el mecanismo es intrínsecamente fiable desde el momento en que fue puesto en servicio hasta que $t = t_0$, y además:
- Si $\beta < 1$ hay fatiga u otro tipo de desgaste en el que la tasa de fallo disminuye con el tiempo después de un súbito incremento hasta t_0 ; valores de β bajos ($\sim 0,5$) pueden asociarse con ciclos de fatigas bajos y los valores de β más elevados ($\sim 0,8$) con ciclos más altos.
 - Si $\beta > 1$ hay una erosión o desgaste similar en la que la constante de duración de carga disminuye continuamente con el incremento de la carga.
- c. $T_0 < 0$. Indica que el mecanismo fue utilizado o tuvo fallos antes de iniciar la toma de datos, de otro modo
- Si $\beta < 1$ podría tratarse de un fallo de juventud antes de su puesta en servicio, como resultado de un margen de seguridad bajo.
 - Si $\beta > 1$ se trata de un desgaste por una disminución constante de la resistencia iniciado antes de su puesta en servicio, por ejemplo debido a una vida propia limitada que ha finalizado o era inadecuada.

2.3 Curva de Davies (de Bañera) asociada al mantenimiento [3]

La curva de tasa de falla asociada al mantenimiento es de gran ayuda para estudiar la fiabilidad y tomar medidas adecuadas para mejorarla. Por ejemplo, si un equipo presenta una alta tasa de fallo 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.

La Figura 2.7 muestra un resumen de las características principales de la curva de Davies asociada al mantenimiento.

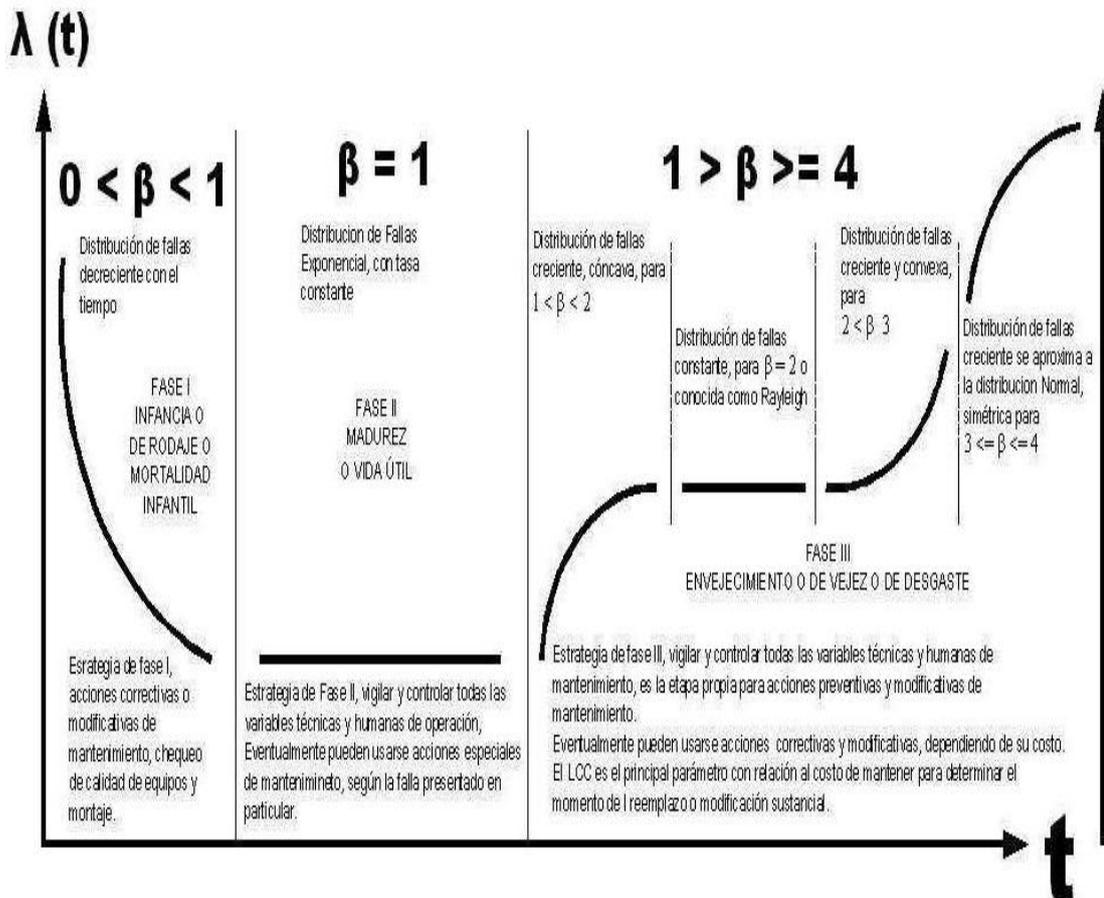


Figura 2.7: Curva de Davies o Bañera Asociada a Conceptos de Falla y Mantenimiento

En donde:

FASE I: Período de infancia o de rodaje o mortalidad infantil.

FASE II: Período de madurez o vida útil

FASE III: Período de envejecimiento o de vejez o de desgaste.

2.3.1. Período de infancia.

La población general de artículos o de un sistema presenta un alto índice de falla relativamente alto en el principio, el mismo que decrece rápidamente y se estabiliza a un tiempo aproximado t_1 .

Por lo general a este período inicial se lo denomina período de “arranque”, fallas precoz o de depuración.

Las fallas en esta etapa pueden producirse por:

- Errores de fabricación.
- Materiales y partes estándares.
- Mal control de calidad.
- Instalación incorrecta.
- Manejo inadecuado.
- Problemas debido al ensamblaje.
- Contaminación.
- Métodos inadecuados de empaque y transporte.

Muchos fabricantes prevén un período de arranque para sus artículos, de tal modo que estas fallas ocurran en la planta y no cuando el cliente los use.

Las fallas infantiles se pueden eliminar mediante:

- Acciones correctivas o modificativas de mantenimiento.
- Chequeo de calidad de equipos y montaje.
- Procedimientos sistemáticos de selección controlada.
- Control de calidad.
- Pruebas de arranque.
- Montaje adecuado de equipos.

2.3.2. Período de vida útil

Una vez realizada la prueba de inicio, la población de artículos alcanza su nivel más bajo de índice de falla, permaneciendo este relativamente constante durante este período. El índice de falla está relacionado con la fiabilidad de diseño.

Constituye el período más significativo para la predicción de la fiabilidad y las actividades de evaluación. En este período la Tasa de Fallos λ es constante.

Las fallas en esta etapa pueden producirse por:

- Los errores son aleatorios e impredecibles.
- Abusos.
- Errores humanos.
- Factores de seguridad bajos.
- Mala utilización de equipos.

- Cambio constante de las condiciones de operación.
- Cargas imprevistas más altas que las esperadas.
- Resistencia aleatoria más baja que la esperada.
- Defectos que no pueden detectar en las técnicas posibles.
- Fallas que no pueden observarse durante al arranque.
- Fallas que no se pueden prevenir mediante las mejoras prácticas de mantenimiento preventivo.
- Causas inexplicables.
- Fallas inesperadas o accidentes.

Las fallas durante la vida útil se pueden reducir al máximo mediante:

- La proporción de un diseño adecuado o márgenes de seguridad.
- Control de todas las variables técnicas y humanas de operación.
- Usar eventualmente acciones especiales de mantenimiento, según la falla presentada en particular.

2.3.3. Período de desgaste

La mayoría de los artículos se diseñan para que tengan un período determinado de vida útil, al finalizar este período (período de vida útil t_2) pues inmediatamente empieza el período de desgaste, después de este punto el índice de falla aumenta rápidamente.

Las fallas en esta etapa pueden producirse por:

- Corrosión u oxidación.
- Desgaste por fricción.

- Envejecimiento o degradación.
- Deformación progresiva.
- Prácticas deficientes de mantenimiento.
- Corta vida de diseño.

Para retardar la aparición de la tercera etapa, puede acudir a:

- Sustitución inmediata de los componentes del dispositivo o equipo cuando estos fallen.
- Vigilar y controlar las variables técnicas y humanas de mantenimiento.
- Eventualmente pueden acciones correctivas y modificativas dependiendo de su costo.
- El LCC es el principal parámetro con relacional coste de mantener para determinar el momento del reemplazo o modificaciones sustancial.
- Sustitución antes de que finalice su vida útil mediante planes de mantenimiento preventivo
- Vigilar y controlar todas las variables técnicas y humanas de mantenimiento
- Realizar acciones preventivas y modificativas al mantenimiento

En esta fase de desgaste, se encuentra otras subfases en las cuales el equipo, máquina o elemento puede estar relacionado. En la Tabla 2.1 se muestra las diferentes subfases presentes:

Tabla 2.1: VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FORMA DE WEIBULL ASOCIADOS A LA CURVA DE LA BAÑERA CON EL MANTENIMIENTO

VALOR (β)	CARACTERÍSTICA
$0 < \beta < 1$	Tasa de Fallos 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

2.4. Determinación de los parámetros de Weibull [5]

Para la determinación de los parámetros de Weibull, se lo puede obtener por medio de cinco métodos. Estos son:

- Mínimos cuadrados.
- Gráfico de la función tasa de falla.
- Máxima similitud.
- Estimación de momentos.
- Estimadores lineales.

Así mismo se lo puede determinar por métodos computacionales, como el software FIASOFT, RELEST, MCM, WEIBULL 6.0⁺⁺.

2.4.1. Determinación analítica

Se puede utilizar varios métodos para la determinación de los parámetros de Weibull, pero los más utilizados son los de regresión lineal o también llamados método de mínimos cuadrados.

Para ello se utiliza el método de regresión en Y, en la cual se deben seguir el siguiente algoritmo:

1.- Poner la función de F(t) en forma lineal.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta}$$

2.- Despejar el

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta}$$

$$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta}$$

3.- Aplicar logaritmo natural a la ecuación:

$$\ln [1 - F(t)] = \ln \left[e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta} \right]$$

Como: $\ln e^x = x$

$$\ln [1 - F(t)] = -\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta$$

4.- Volver a aplicar logaritmo natural a la ecuación.

$$\ln \left[\ln [1 - F(t)] \right] = \ln \left[-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta \right]$$

$$\ln \left[\ln [1 - F(t)] \right] = \ln \left[\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta \right]$$

$$\ln \left[\ln [1 - F(t)] \right] = \beta * \ln(t - t_0) - \beta * \ln \alpha$$

5.- Expresar la ecuación como una ecuación de una recta.

$$y = \beta * x + C$$

$$x = \ln(t - t_0)$$

$$y = \ln \left[\ln \left[1 - F(t) \right] \right]$$

$$C = \beta * \ln \alpha$$

6.- Aplicar el método de regresión lineal en Y con la siguiente fórmula:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N y_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N}}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N x_i)^2}{N}} \quad (8)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} - b \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (9)$$

$$y_i = \ln \left[\ln \left[1 - F(t) \right] \right] \quad (10)$$

$$x_i = \ln(t - t_0) \quad (11)$$

7.- Realizar un cuadro para facilitar los cálculos.

Tabla 2.2: CÁLCULO DE LOS DATOS PARA OBTENER A Y B

N	Ti TEF	Xi Ln(Ti)	F(t)	Yi ln(-ln(1-F(t)))	(Xi) ²	(Yi) ²	Xi.Yi

8.- Reemplazar en las ecuaciones y obtener los valores de β y α .

$$\beta = b \quad (12)$$

$$\alpha = e^{-(a/b)} \quad (13)$$

9.- Calcular entonces los parámetros de Weibull con las soluciones anteriores.

10.- Se procede a calcular el **Coefficiente de Correlación**.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (14)$$

2.4.2. Determinación estadística computarizada

Existen varios software que nos permiten determinar los índices de fiabilidad a través de la distribución de Weibull en base al tratamiento estadístico de los tiempos de falla (tiempos operativos) registrados en la hoja de vida del equipo o maquina. Entre estos programas tenemos el software FIASOFT, RELEST, MCM, WEIBULL 6.0⁺⁺.

2.4.2.1. Software: Fiasoft [6]

El Software de Fiabilidad Denominado “FIASOFT”, permite realizar el análisis y predicción de los índices de fiabilidad en los equipos y sistemas mecánicos a través del modelo estadístico de probabilidad de Weibull, ya que con el método de regresión lineal o de los mínimos cuadrados se obtiene la ecuación de la recta.

El programa analiza y predice los índices de fiabilidad a partir de los datos de buen funcionamiento obtenidos del historial del equipo.

Además, genera las gráficas para el análisis de fiabilidad y los resultados del parámetro de forma, vida característica, fiabilidad, in fiabilidad, tasa de falla, densidad de probabilidad de falla y tiempo medio entre fallas.

Tiene una interfaz de usuario sencilla para un fácil manejo del programa, proporciona facilidad para el ingreso de datos, copia y edición de los mismos, guarda los gráficos en el formato más adecuado para el usuario ya que el programa se ha diseñado en Visual Basic 6.0.

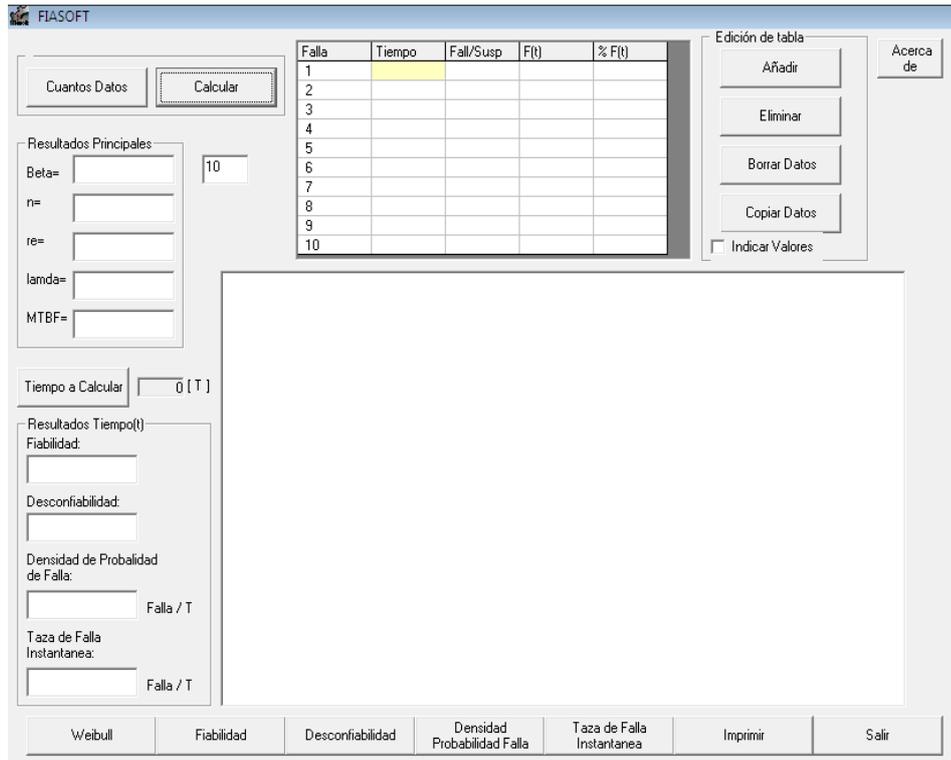


Figura 2.8: Software FIASOFT.

Los resultados obtenidos con el programa se utilizan para determinar la etapa de vida en que se encuentra el equipo, a partir de esto se determina las tareas correctas y las frecuencias óptimas para la planificación del mantenimiento industrial.

2.5. Estructuras de sistemas

Las máquinas y sistemas industriales están compuestos de sistemas, subsistemas y elementos, dispuestos de tal manera que se aseguren su efectividad en su funcionamiento. Su fiabilidad es una función de las fiabilidades de sus elementos, componentes, los mismos que pueden tener una configuración en serie, paralelo, serie – paralelo u otra compleja, así como también en sistemas redundantes.

2.5.1. Sistema serie

Un sistema en serie es aquel en el que todos los componentes deben funcionar adecuadamente para que funcione el sistema.

Claramente la analogía conceptual a la estructura serie, es un circuito eléctrico de tipo serie.

Sin embargo, esto no significa que los componentes deban estar conectados físicamente en secuencia. Más bien, lo más importante es que funcionen todos los componentes.

El concepto de un circuito en serie se utiliza generalmente para definir una representación grafica de un sistema en serie.

En la Figura 2.9 se muestra un circuito serie de tres componentes.

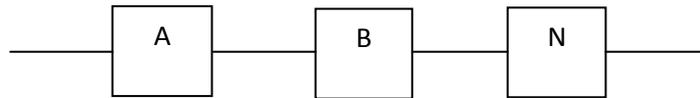


Figura 2.9: Sistema en serie

Si R_s , representa la fiabilidad del sistema y R_i , la fiabilidad del componente i ésimo, donde $i=1, 2, \dots, n$.

La fiabilidad total del sistema viene determinado por:

$$R_{s(t)} = \prod_{i=1}^n R_{i(t)} = R_{1(t)} * R_{2(t)} * R_{3(t)} * R_{n(t)} \quad (15)$$

La Infiabilidad total del sistema será:

$$F_{s(t)} = 1 - R_{s(t)} = 1 - \prod_{i=1}^n R_{i(t)} \quad (16)$$

2.5.2. Sistema paralelo

Un sistema paralelo es aquel en que el funcionamiento de cualquier de los componentes implica el funcionamiento del sistema. Se anota que este sistema no implica ninguna conexión física entre los componentes.

Conceptualmente, un sistema paralelo falla cuando todos sus componentes fallan, y el sistema funciona cuando por los menos un componente funcione.

En la Figura 2.10 se muestra un diagrama de un sistema paralelo.

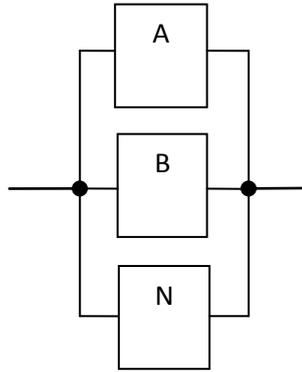


Figura 2.10: Sistema en paralelo

La fiabilidad total del sistema está determinado por:

$$R_{s(t)} = 1 - \prod_{i=1}^n R_{i(t)} = 1 - (1 - R_{1(t)}) * (1 - R_{2(t)}) * (1 - R_{3(t)}) \dots (1 - R_{n(t)}) \quad (17)$$

La Infiabilidad total del sistema será:

$$F_{s(t)} = 1 - R_{i(t)} = 1 - \prod_{i=1}^n 1 - R_{i(t)} = F_1 * F_2 * F_3 \dots F_n \quad (18)$$

2.5.3. Sistema combinado

Un sistema combinado o llamado también sistema compuesto, es aquel que está conformado por componentes en serie y componentes en paralelo, en donde la rama que tenga la estructura serie funcionará solo si todos sus elementos funcionan, y la rama que posee el sistema paralelo, funcionara si cualquiera de ellos funciona.

En la Figura 2.11 se muestra un sistema combinado.

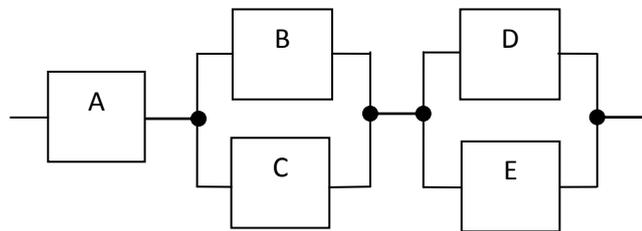


Figura 2.11: Sistema Combinado

Para la resolución de este sistema combinado es conveniente realizar reducciones.

Primera reducción:

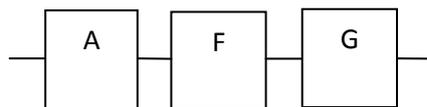


Figura2.12: Sistema equivalente (a)

Segunda reducción:

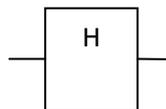


Figura 2.13: Sistema equivalente (b)

La fiabilidad del componente F es la correspondiente a los componentes B y C; la fiabilidad del componente G es la correspondiente a los componentes D y E obtenidas en la primera reducción; la fiabilidad del componente H está dada por la fiabilidad de los componentes A, F y G, obtenidas en una segunda reducción.

2.5.4. Sistema redundante

Los sistemas redundantes también conocidos como sistemas “stand – by”; son aquellos en los que algunas funciones están duplicadas o triplicadas con el propósito de conseguir una mayor fiabilidad.

En la ingeniería de la fiabilidad, la redundancia puede definirse como la existencia de más de un medio para realizar una función dada. En general, es necesario que fallen todos los medios para que falle el sistema.

El esquema básico de un sistema redundante es el paralelo, sin embargo el sistema en paralelo sería una redundancia simple, denominada también a funcionamiento permanente o esquema fijo. En cambio el sistema redundante en su esencia sería una redundancia a funcionamiento secuencial, llamada también a decisión-conmutación o esquema variable.

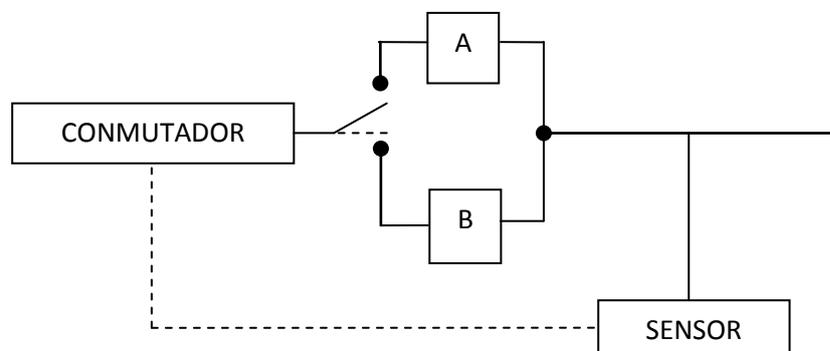


Figura 2.14: Sistema redundante

De allí la diferencia entre sistema en paralelo y el sistema redundante, radica en que, el sistema en paralelo todos los dispositivos funcionan simultáneamente, mientras que en el sistema redundante funciona solo uno o algunos de los componentes y siempre habrá uno o más componentes en espera (stand by) para actuar en caso fallen los otros que están funcionando inicialmente.

En la Figura 2.15 se muestra un sistema redundante:

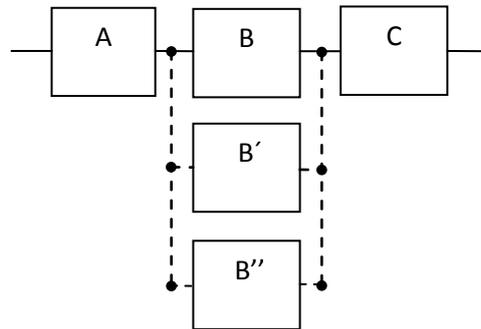


Figura 2.15: Sistema redundante

La fiabilidad del sistema está determinado por:

$$R_S(t) = R_B(t) + F_B(t_1) * R_B(t-t_1) \quad (19)$$

En donde:

$R_S(t)$ = Fiabilidad del sistema redundante (%).

$R_B(t)$ = Fiabilidad del sistema principal para el tiempo t.

$F_B(t_1)$ = Probabilidad de falla (infiabilidad) del sistema en espera para el tiempo t_1 .

$R_B(t-t_1)$ = Fiabilidad del sistema en espera para el tiempo (t-t₁)

CAPÍTULO III

3. GRUPOS DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN FAISANES

3.1. Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito – Macul [7]



Figura 3.1: Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito – Macul.

El poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito – Macul, está conformado por tres tramos: Esmeraldas - Santo Domingo, Santo Domingo - Beaterio y Santo Domingo - Macul.

El Tramo Esmeraldas - Santo Domingo fue el primero en iniciar sus operaciones en el año de 1979, posteriormente el 26 de septiembre de 1980 se extendió el tramo Santo Domingo - Beaterio y el 24 de abril de 1992 inició operaciones el tramo Santo Domingo - Macul.

3.1.1 Productos transportados

En la Tabla 3.1 se indica los productos que se transportan por el Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo-Quito-Macul y son los principales derivados del petróleo; entre estos tenemos gasolina súper, extra, diesel Premium, diesel 2, jet fuel.

Tabla 3.1: PRODUCTOS TRANSPORTADOS POR EL POLIDUCTO E-SD-Q-M

Poliducto	Extensión (km)	Diámetro (pulg)	Transporte (bls/día)	Productos
Esmeraldas-Santo Domingo	164	16	70.000	Gasolina Súper, Gasolina Extra, Diesel P, Diesel 2.
Santo Domingo-Beaterio	88,87	12	44.000	Gasolina Súper, Gasolina Extra, Diesel P, Diesel 2.
Santo Domingo- Macul	276,48	10	35.000	Gasolina Súper, Gasolina Extra, Diesel P, Diesel 2.

3.1.2. Descripción de tramos:

La longitud total del Poliducto Esmeraldas –Santo Domingo- Quito - Macul es aproximadamente de 529 + 350 km. Cada tramo del Poliducto tiene características diferentes en cuanto se refiere a la tubería, longitud, diámetro, espesor y empaquetado de la misma de estación a estación. Estos valores se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: DESCRIPCIÓN DE TRAMOS DEL POLIDUCTO E-SD-Q-M

Tramos	Longitud (km)	Diámetro (pulg)	Espesor		Volumen Empaquetamiento (bls)
			(pulg)	(mm)	
Esmeraldas-Santo Domingo	164	16	0.375	9.53	121.800
Santo Domingo-Faisanes	30.325	12	0.219	5.56	14.617
Faisanes-Corazón	35.475	12	0.219	5.56	17.099
Corazón-Reductora El Beaterio	23,07	12	0.219	5.56	11.120
Santo Domingo-Macul	276,48	10	0.250	6.35	91.800

En la Figura 3.2 se muestran las diferentes presiones (succión y descarga), perfil de la tubería con sus respectivas estaciones de bombeo, altitud msnm, grupos que se encuentran operando (luz verde) con sus respectivos rpm de cada estación de bombeo del Polducto Esmeraldas-Santo Domingo-Quito.

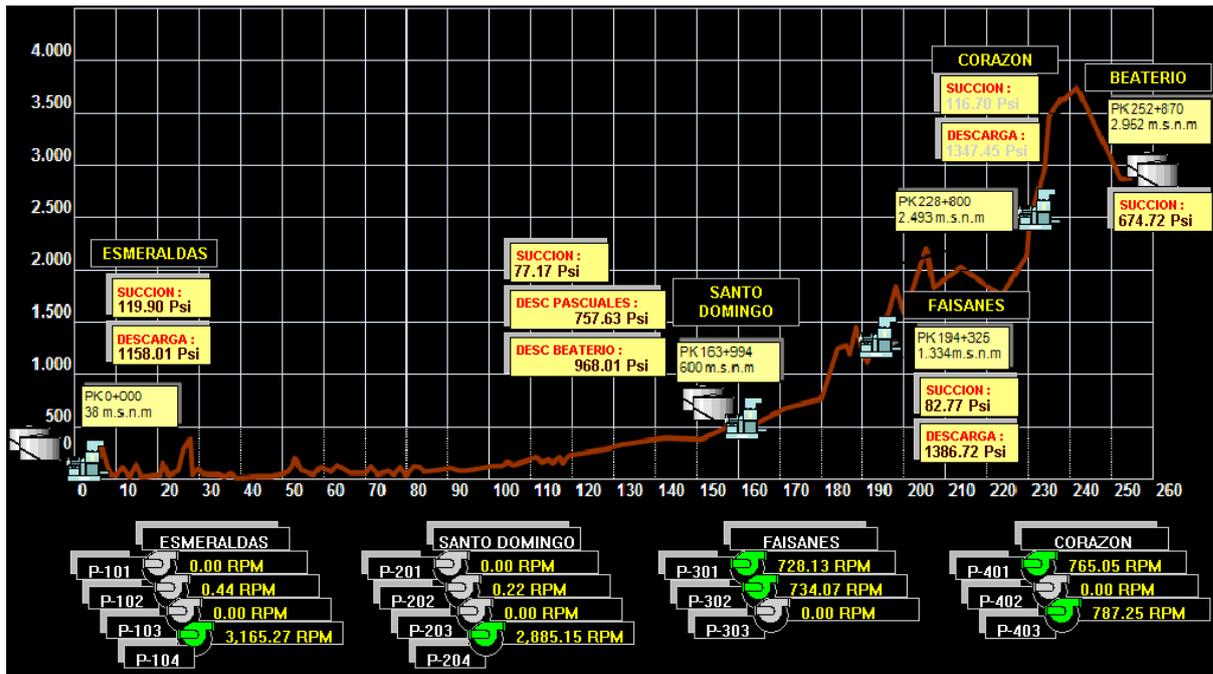


Figura 3.2: Perfil Altimétrico del Polducto E-SD-Q

3.2. Estación de Bombeo Faisanes [8]

La Estación Faisanes está ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, en el sector La Palma, Km. 35 vía a Chiriboga, a 1350 metros sobre el nivel del mar, en la coordenada geográfica de 00°17 34 Latitud Sur y 78° 52 48 Longitud Oeste, tiene una superficie total de 2,25 Ha.



Figura 3.3: Estación de Bombeo Faisanes

Faisanes es una estación intermedia de bombeo del poliducto, de 12 pulgadas de diámetro nominal en la tubería, que va desde Santo Domingo hasta el Beaterio. La estación de bombeo consta de bombas para línea troncal, detector de interface, sistema de alivio, trampas recepción y lanzamiento, así como la tubería, válvulas, edificio de control y demás equipos auxiliares necesarios.



Figura 3.4: Estación Faisanes

Esta Estación recibe los distintos productos (gasolina súper, gasolina extra, diesel 1, diesel 2, jet fuel), desde la estación Santo Domingo hacia la Estación Corazón.

Consta de 3 grupos de bombeo, identificados como P-301, P-302 y P-303, en las cuales dos trabajan en serie (uno en baja y otro en alta), mientras que el tercer grupo permanece en stand – by (equipo redundante) que entra en funcionamiento cuando se la necesite o cuando en una de las dos que están operando falla.

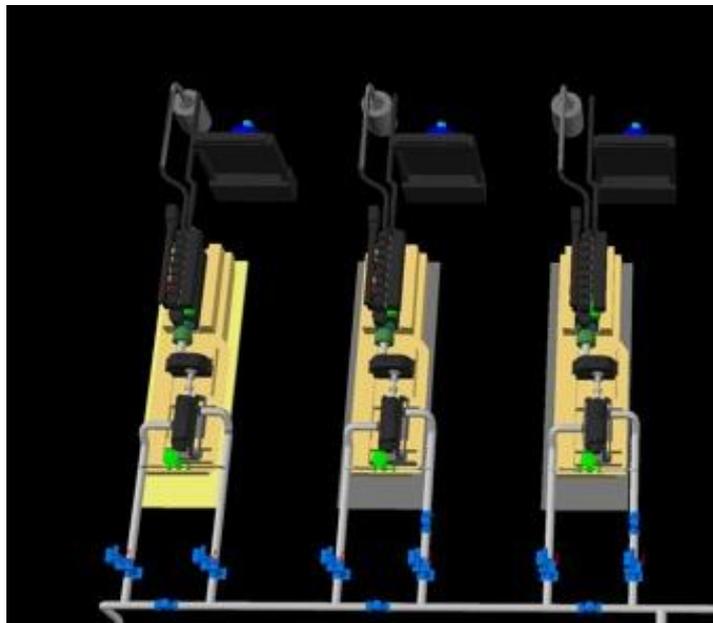


Figura 3.5: Grupos de Bombeo de la Estación Faisanes

Cada grupo consta de un MCI Motoren – Werke – Mannheim (MWM) Modelo TDB 440-8k, un Incrementador de Velocidad de engranes helicoidales y una Bomba Multi-etapas (5 etapas). Este motor diesel de 8 cilindros en línea es turbo cargado. Esta calibrado para rendir 1200 HP a 900 rpm a una altura de 4616 pies (14.7 m) y a 64 °F (18 °C) de temperatura.



Figura 3.6: Grupo de Bombeo (Motor-Incrementador-Bomba)

3.2.1. Sistema de Funcionamiento de los Grupos de Bombeo [9]

Iniciada la operación en la Estación Santo Domingo, el operador observará en el monitor de control de operaciones, una variación de ascenso en la presión estática de succión, inmediatamente se procede a poner en marcha las unidades P-301 y P-302 o P-301 y P-303 o P-302 y P-303, abriendo las válvulas de descarga.

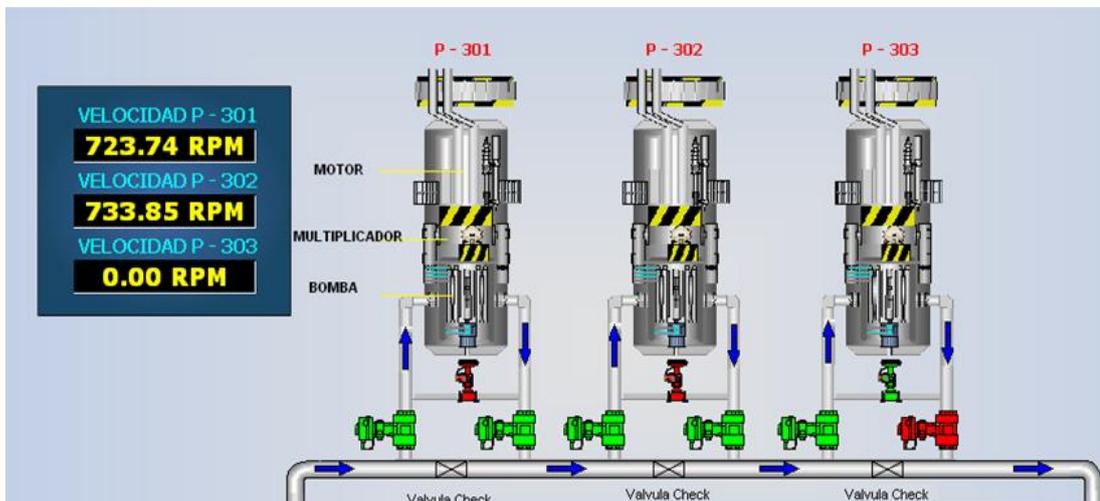


Figura 3.7: Diagrama de Flujo-Estación

De esta operación se comunicará a la Estación siguiente para que proceda con la misma operación. Se comienza lentamente a incrementar la velocidad de los motores desde los controladores, tratando de no disminuir la presión de succión de 50 psi y cuidando que la presión de descarga no exceda para P-301 - 1248 psi, P-302 – 1800 psi y P-303 – 1900 psi, por cuanto las unidades se bloquean.

Una vez que la operación se ha normalizado se consultara a las Estaciones de Santo Domingo y Corazón de las condiciones de las mismas. Con la finalidad de asegurar una optima operación, se deberá solicitar a la Estación de Santo Domingo sobre el producto que se encuentra bombeando, número de partida, API y temperatura.

3.2.2 Operación del Grupo

En la sala de operaciones o sala de control de la Estación se dispone de una serie de tecnologías de última generación. La arquitectura del sistema está basada en una estructura jerárquica, la cual, en su parte superior está compuesta por un sistema SCADA desarrollado sobre el software Intouch V9.0 de Wonderware. En el siguiente nivel, se encuentra una plataforma de gestión, la misma que tendrá como objetivo administrar la información hacia el nivel Corporativo En el nivel subsiguiente; denominado nivel de control, se encuentran cuatro Controladores Lógicos Programables marca MODICON - TELEMECANIQUE y una Terminal de operador TELEMECANIQUE. La interconexión entre ambos niveles se realiza mediante una red Ethernet Industrial. En el nivel inferior se tiene toda la instrumentación de campo, la cual se conecta directamente a los diferentes módulos de entradas y salidas de los PLC

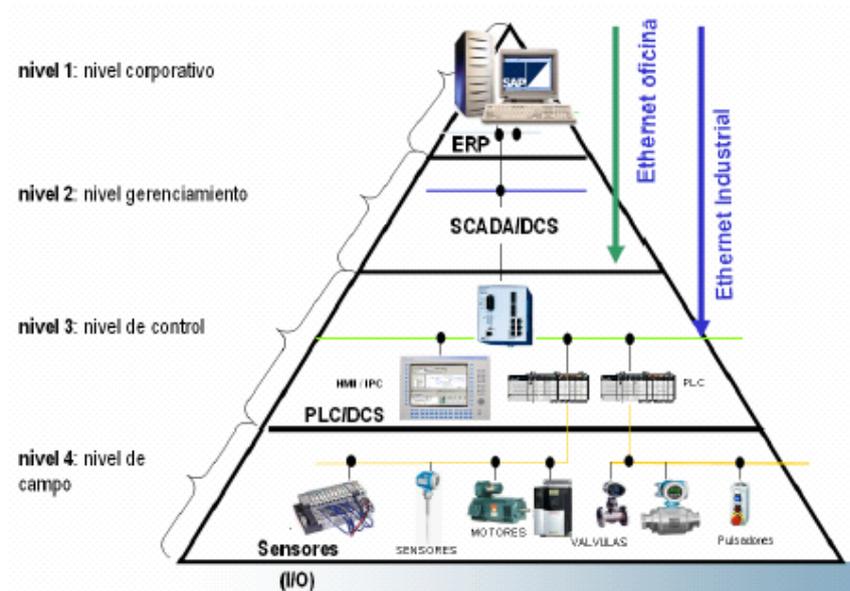


Figura 3.8: Niveles de la Estructura Jerárquica

3.2.3. Sistema Scada [10]

InTouch es un programa para el desarrollo de una interfaz hombre-máquina (HMI), para la visualización y control de procesos industriales, el mismo que ofrece una manera sencilla de operación a la vez que facilita la configuración a través de gráficos y diálogos. Las aplicaciones realizadas en InTouch pueden ser accedidas desde dispositivos móviles terminales, nodos informáticos e Internet. Adicionalmente, es abierto y flexible, ofreciendo una conectividad sin igual en el mercado con la mayoría de equipos de automatización usados en la industria.

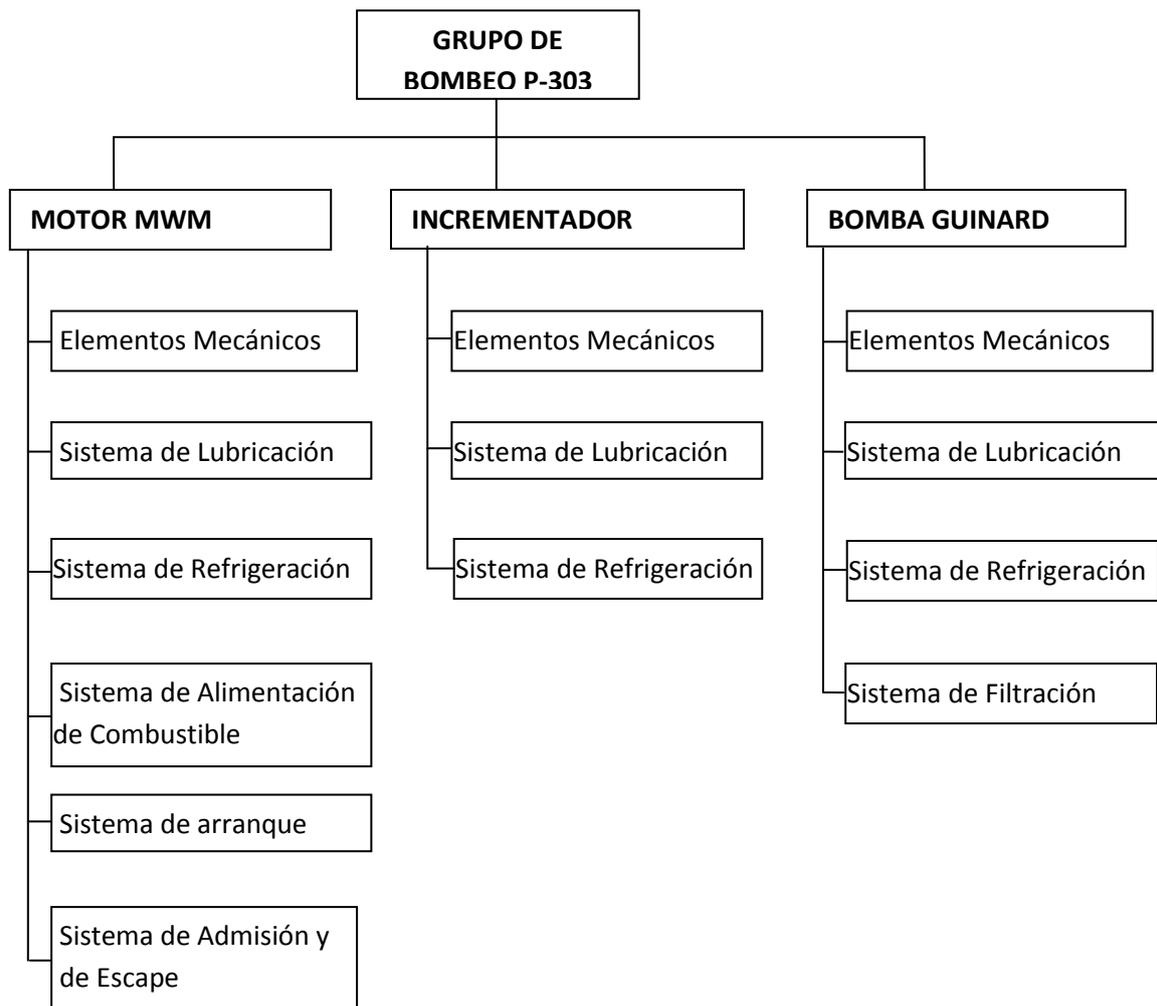
Este Programa SCADA, también nos proporciona la información del valor mínimo de presión de succión y valor máximo de presión de descarga, así como también las temperaturas en las cuales los grupos pueden trabajar, en caso de superar el límite admisible los grupos caen y salen de funcionamiento hasta ser reseteados. Estos valores se detallan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: SETPOINTS DE PROCESO EN EL GRUPO P-303

	POLIDUCTO ESMERALDAS - SANTO DOMINGO – QUITO – MACUL	ESTACIÓN “FAISANES”
SETPOINTS DE PROCESO EN EL GRUPO P-303		
DESCRIPCIÓN		SP-P303
Presión de Succión (mínimo)		50 psi
Presión de Descarga		1900 psi
Temperatura de Agua del motor		102 °C
TSCP Temperatura de Escape del motor		450 °C
TCIBV Temperatura de Cojinete Interior Baja Velocidad		80° C
TCEBV Temperatura de Cojinete Exterior Baja Velocidad		80° C
TCIÁV Temperatura de Cojinete Interior Alta Velocidad		80° C
TCEÁV Temperatura de Cojinete Exterior Alta Velocidad		80° C
TGB Temperatura del CASE de la Bomba		80° C
TCEB Temperatura del Cojinete Exterior de la Bomba		80° C
TCEMB Temperatura del cojinete Empuje de la Bomba		80° C
TOIL Temperatura de aceite del motor		85° C

3.3. Sistemas, Subsistemas y Componentes

El grupo de bombeo P-303, está compuesto por tres sistemas, las cuales están conformadas por el motor MWM, el Incrementador de Velocidades y la Bomba Guinard., estos a su vez están compuestos por subsistemas, elementos y componentes, las cuales se detallan a continuación:



3.3.1. Motor MWM (Motoren Werke Mannheim) [11]



Figura 3.9: Motor de Combustión Interna TDB-440 8K

Este Motor de Combustión Interna TDB-440 8K tiene la función de transformar la energía química, producto de la combustión, en energía mecánica, lo cual impulsa al incrementador. Este motor diesel de 8 cilindros en línea es turbo cargado. Está calibrado para rendir 1200 HP a 900 rpm a una altura de 4616 pies (14.7 m) y a 64 °F (18 °C) de temperatura.

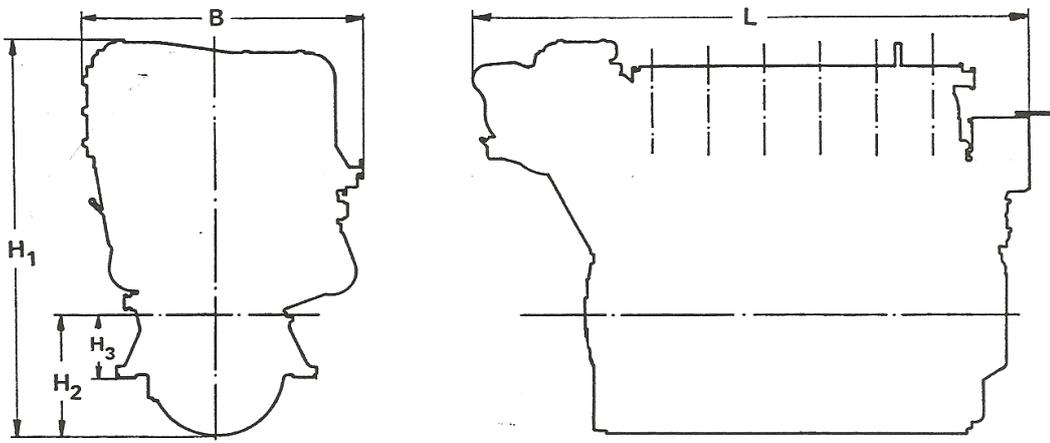


Figura 3.10: Dimensiones Principales del Motor

Tabla 3.4: DIMENSIONES PRINCIPALES Y PESO DEL MOTOR

Dimensiones principales (mm)					Peso del Motor seco (kg)
L	B	H ₁	H ₂	H ₃	
3950	158	2240	680	350	8600

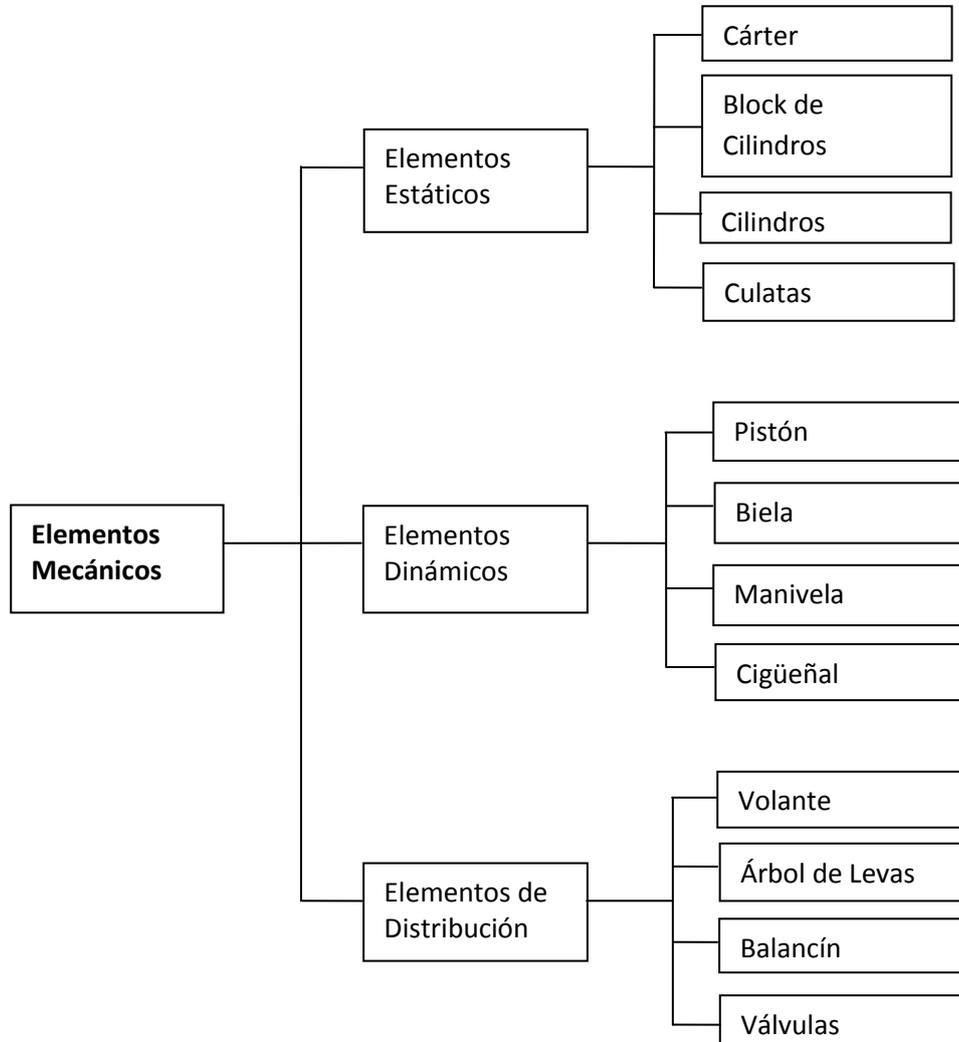
En la Tabla 3.5, se indica las características principales que posee este motor, en cuanto a su designación, potencia, presión, número de cilindros, entre otros.

Tabla 3.5: FICHA TÉCNICA DEL M.C.I. DEL GRUPO P-303

		POLIDUCTO ESMERALDAS - SANTO DOMINGO – QUITO – MACUL		ESTACIÓN “FAISANES”			
FICHA TÉCNICA DEL M.C.I. DEL GRUPO P – 303							
Designación del Tipo							
<p>Motor Diesel con turbo cargador enfriador de aire n° de serie n° de cilindros y potencia aumentada</p> <p style="text-align: center;"> → T ↑ B ↓ D ↑ 440 ↑ 8 ↑ K </p>							
MARCA	MWM	SERIE:	4400810176				
N° de cilindros	8	Potencia:	1200 HP				
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
Proceso de Trabajo:	Inyección Directa	Disposición de los cilindros:	En Línea – Verticales				
N° de cilindros:	230 mm	Carrera:	270 mm				
Volumen de Embolada por Cilindro:	11,2 dm ³	Volumen Total de embolada:	89,7 dm ³				
Cantidad de Agua Refrigerante	215 dm ³	Cantidad de aceite:	70 gal.				
ORDEN DE ENCENDIDO:							
Izquierda:	1-3-5-7-8-6-2-4	Derecha:	4-2-6-8-7-5-3-1				
DATOS DE AJUSTE							
Presión de Aceite Lubricante delante del filtro:	4,0 Bar	T ° del aceite lubricante, entrada del motor	90 hasta 95 °C				
T° del Agua Refrigerante, salida del motor:	75 hasta 80° C	Presión de Inyección:	350 Bar				
DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR AUXILIAR							
Motor de Pre-lubricación				Motor del Ventilador			
Marca:	SIEMENS	Serie:	S1IP	Marca:	SIEMENS	Serie:	259805
# Fases:	Trifásico	Frec:	60 Hz	# Fases:	Trifásico	Frec:	60 Hz
Rpm:	1650	Hp:	1.5	Rpm:	1170	Hp:	14,7
Voltios:	220/440Y Δ	Amp:	5.0/2.5	Voltaje:	460Δ	Amp:	25,5
η:	65.9	Cos φ:	0.89	η:	54	Cos φ:	0.82

3.3.1.1. Elementos mecánicos

Los elementos mecánicos del motor están constituidos por:



3.3.1.1.1. Elementos estáticos

Son aquellos que protegen a los elementos internos del motor. Entre estos tenemos: block de cilindros, cárter, cilindros y culatas.

- **Block y Cárter**

Estas dos partes constituyen los elementos soportadores del motor. Ellas se hacen cargo de las fuerzas que se presentan en los cilindros y en mecanismo cigüeñal durante el servicio.

Además el block del motor transmite al fundamento del motor, conjuntamente con el peso de éste, las fuerzas residuales y de apoyo, originadas por el par de giro.

En el block del motor van dispuestas el cigüeñal, y las camisas de los cilindro. El árbol de levas va montado lateralmente en la carcasa del mismo adosada al motor

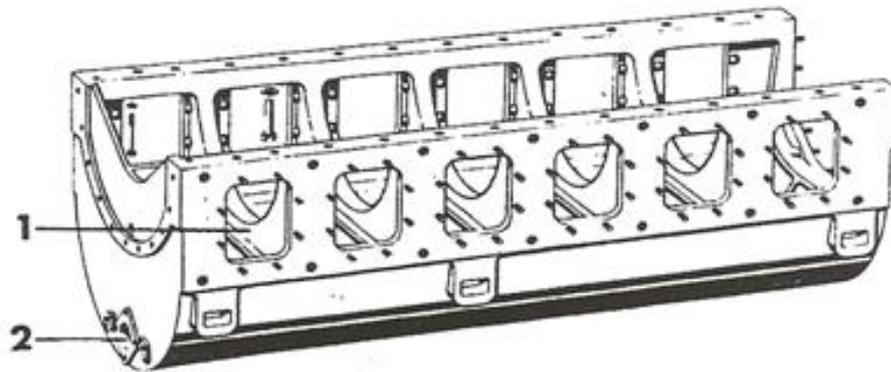


Figura 3.11: Cárter del motor

- 1. Mirillas en el cárter de aceite
- 2. Paso para la tubería de aceite lubricante

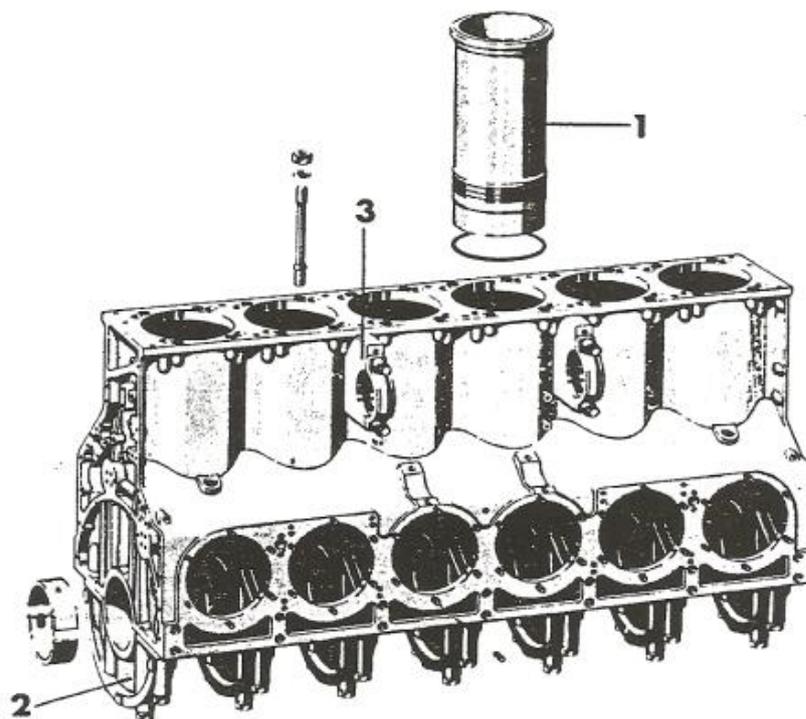


Figura 3.12: Block del motor

1. Camisa del cilindro.
2. Sombrero de cojinete de bancada
3. Asiento para la fijación del árbol de levas

- **Culatas**

Las culatas cierran la camisa del cilindro por arriba. En las culatas van dispuestas válvulas de admisión y de escape, inyector y válvulas de arranque. Además también van montadas en culatas conexiones para medir la temperatura de gases de escape y la presión del cilindro.

Las válvulas de admisión y escape son accionadas a través del balancín dispuesto en la culata. Válvula de arranque es accionada con aire comprimido a través del distribuidor aire de arranque.

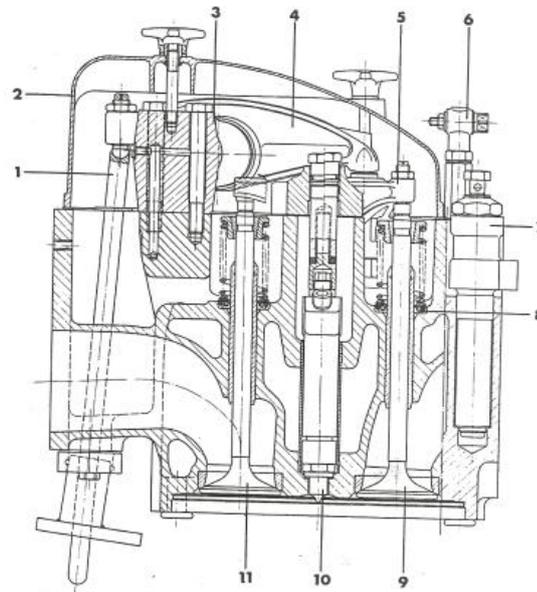


Figura 3.13: Culata

1. Varillas de Empuje
2. Recubrimiento de la culata
3. Soporte de balancín

4. Balancín
5. Elevador
6. Grifo para medición de temperatura de los gases de escape
7. Válvula de arranque
8. Dispositivo de rotación de válvulas (Rotocap)
9. Válvulas de escape
10. Inyector
11. Válvula de admisión

3.3.1.1.2 Elementos dinámicos

Son aquellos elementos que transforman la energía química en energía mecánica. Entre ellas tenemos: mecanismo pistón - biela – manivela - cigüeña-volante.

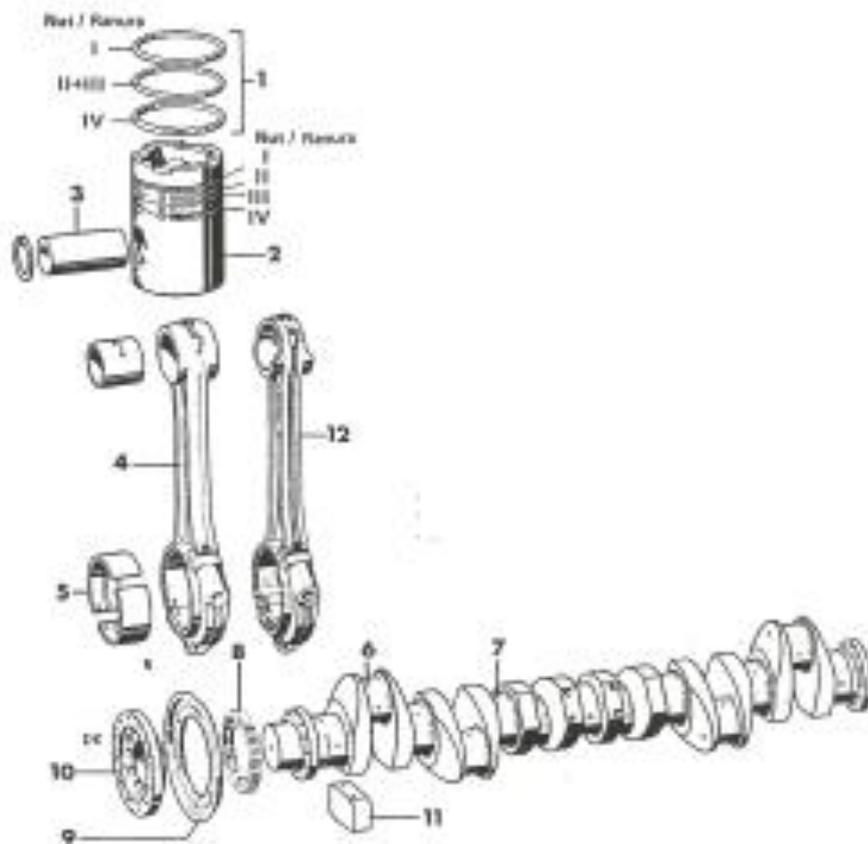


Figura 3.14: Mecanismo del cigüeñal

1. Segmentos del pistón
2. Pistón
3. Bulón de pistón
4. Biela
5. Cojinete de biela
6. Muñón
7. Muñón de bancada
8. Rueda dentada hacia accionamiento de engranajes
9. Anillo lanzador de aceite hacia el cigüeñal
10. Brida del volante del motor
11. Contrapeso
12. Biela



Figura 3.15: Cigüeñal

3.3.1.1.3. Elementos de distribución

Permiten la apertura de admisión y escape de los gases. Entre estos tenemos: Árbol de levas, balancín y válvulas.

- Accionamiento de Engranajes y del Árbol

Desde el cigüeñal, la rueda dentada 1 transmite el giro a través de ruedas intermedias 2 y 3, la rueda dentada 4, al accionamiento de la bomba de inyección. La rueda dentada 4 acciona además el árbol de levas a través de una rueda dentada 5 y una rueda dentada 6 para el accionamiento del regulador. La rueda 7 accionada por rueda intermedia 2 sirve para accionamiento de la bomba de aceite. Las ruedas intermedias 8, 9 y 10 accionan la rueda dentada 11 para accionamiento de la bomba centrífuga.

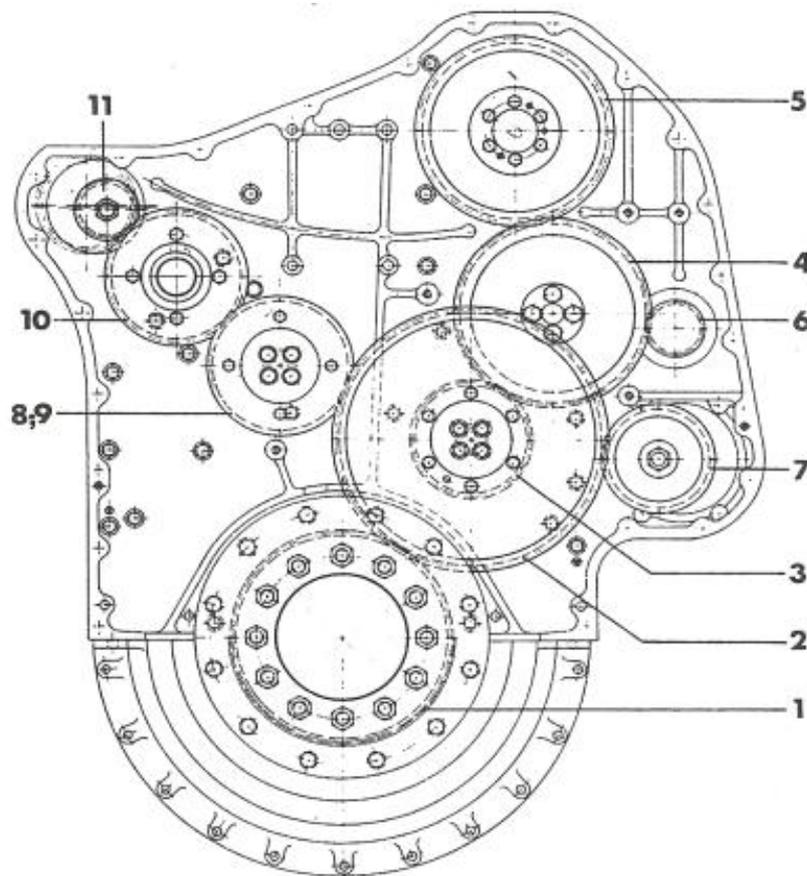


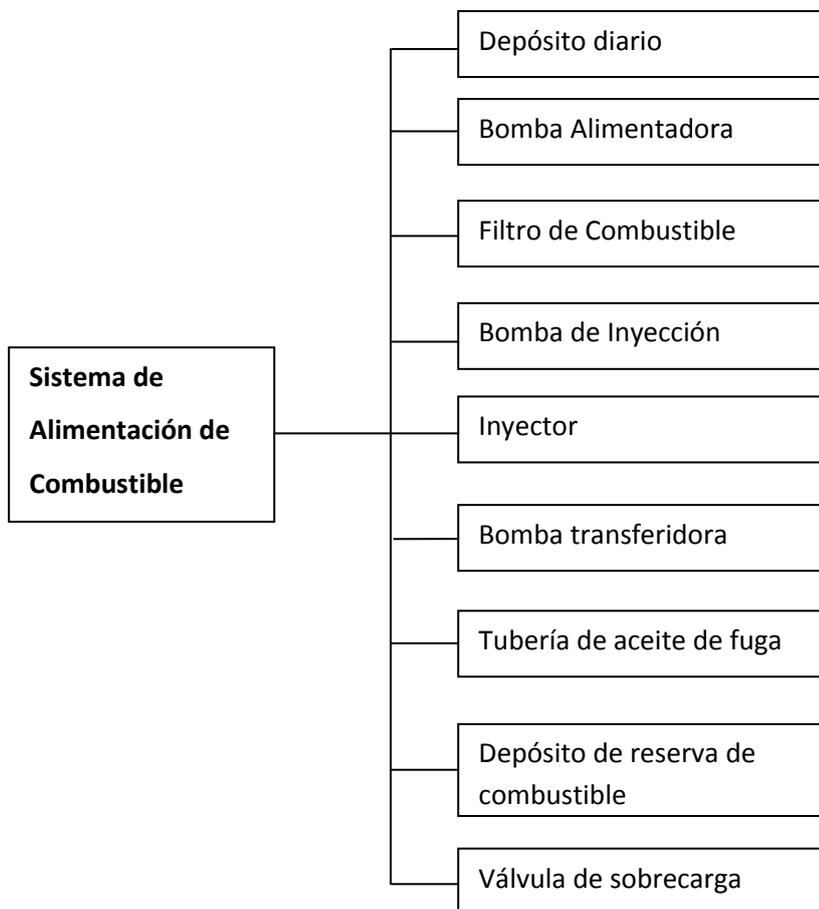
Figura 3.16: Accionamiento de Engranajes

1. Rueda del Cigüeñal
2. Rueda Intermedia
3. Rueda Intermedia
4. Rueda de accionamiento de la Bomba de Inyección

- 5. Rueda de accionamiento del Árbol de Levas
- 6. Rueda de accionamiento del regulador de revoluciones
- 7. Rueda de accionamiento de la bomba de aceite de lubricación.
- 8,9. Rueda de accionamiento
- 10. Rueda de accionamiento de la bomba de líquido refrigerante
- 11. Rueda de accionamiento de la bomba centrifuga.

3.3.1.2. Sistema de alimentación de combustible

El Sistema de Alimentación de Combustible tiene la función de abastecer de combustible en la cámara de combustión en el momento de la compresión, para que se produzca la combustión. Está conformado por los siguientes elementos:



Para accionar el motor, en cada segunda revolución del cigüeñal, se inyecta combustible en los cilindros para quemarse en el aire calentado por la compresión.

El combustible es bombeado por la bomba transferidora (6) desde el depósito de reserva (8), en el depósito de a diario. Desde ese depósito, la bomba alimentadora (2) absorbe el combustible y lo dirige a través del filtro (3) en la bomba de inyección (4). Los inyectores (5) reciben el combustible bajo alta presión desde la bomba de inyección y lo pulverizan en los cilindros. El aceite de fuga que durante este proceso sale a través de la aguja del inyector y el cuerpo del inyector, es devuelto al depósito de reserva a través de la tubería colectora (7).

Para mantener constante la temperatura de la bomba de inyección (4) se suministra más combustible que el necesario para la combustión. El combustible sobrante es devuelto al depósito de a diario a través de las válvulas de sobrecarga. La dirección del flujo se indica en la Figura 32 a través de flechas.

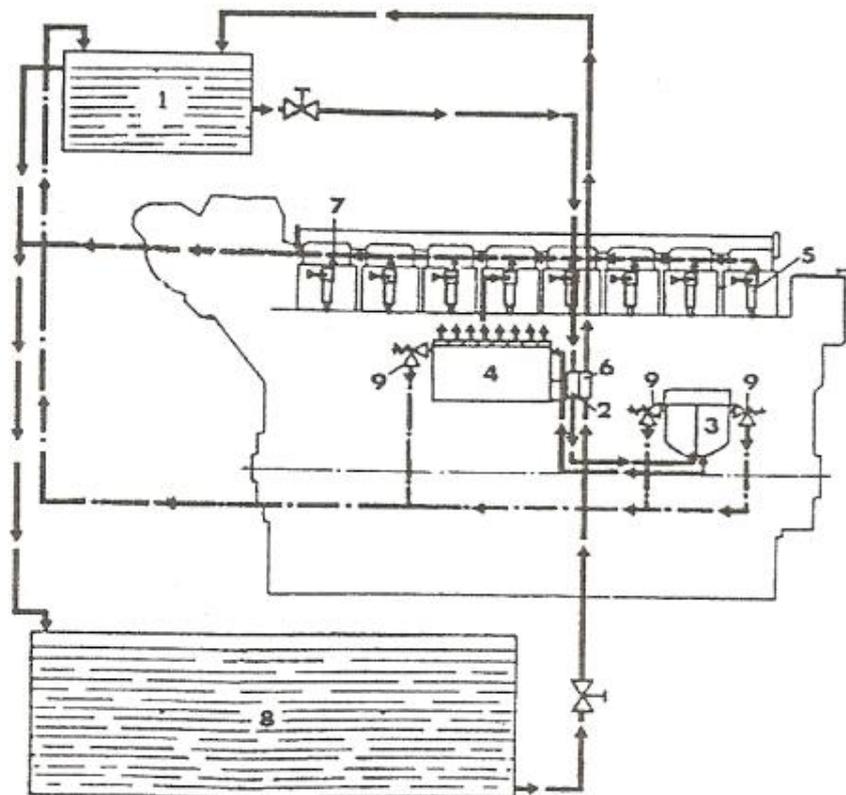


Figura 3.17: Sistema de Combustible

1. Depósito diario
2. Bomba Alimentadora
3. Filtro de Combustible
4. Bomba de Inyección
5. Inyector
6. Bomba transferidora
7. Tubería de aceite de fuga
8. Depósito de reserva de combustible
9. Válvula de sobrecarga

- **Regulación del Número de Revoluciones**

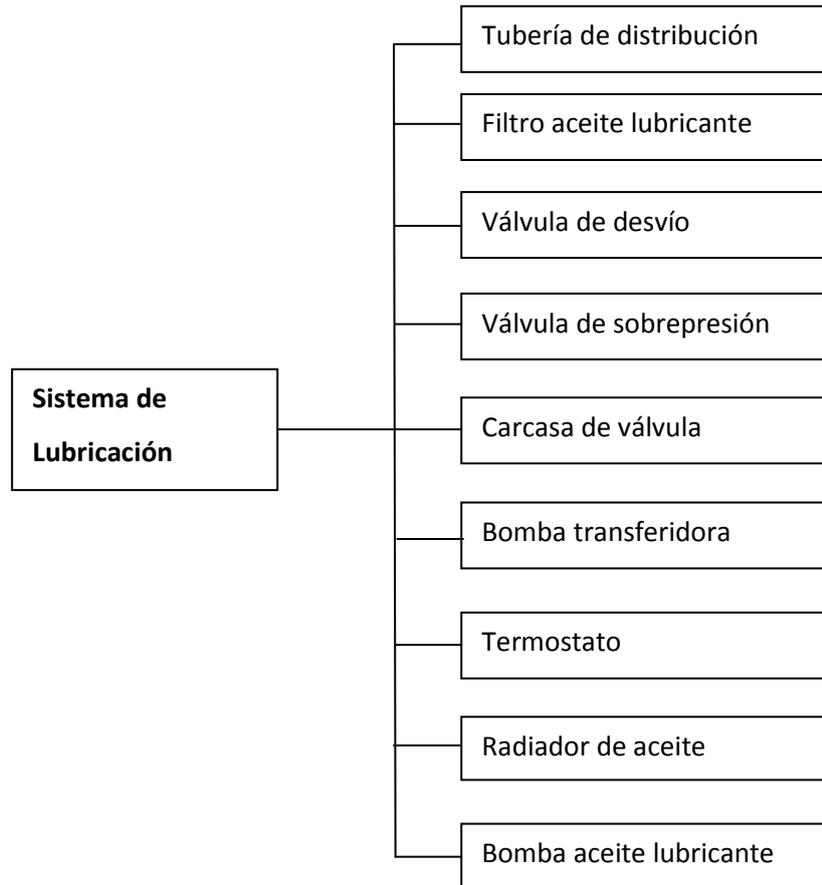
La misión del regulador de revoluciones es mantener lo más constante posible el número de revoluciones del motor también bajo cargas cambiantes. Este regulador del número de revoluciones que trabaja midiendo fuerzas centrífugas, es accionado a través de ruedas dentadas de bomba de inyección.



Figura 3.18: Regulación del número de revoluciones

3.3.1.3. Sistema de Lubricación

La función que tiene el sistema de lubricación es la de reducir la fricción y descargar el calor por medio de aceites lubricantes en los puntos de cojinetes, camisas de cilindros y pistones. Está compuesto por los siguientes elementos:



En la Figura 3.19, la bomba del aceite lubricante (16) aspira lubricante del cárter del aceite y lo conducen hasta el termostato. Si la temperatura es inferior a la de servicio, el aceite lubricante es conducido directamente hasta el filtro de aceite lubricante (6). Al alcanzar la temperatura de servicio, el termostato abre el paso hacia el radiador de aceite (11) a través de la carcasa de válvula (9), para ser conducido hasta el filtro de aceite lubricante (6), una válvula de desvío (7) impide que haya interrupciones en la corriente de aceite al estar obturados los cartuchos del filtro de precisión. Desde el filtro de aceite lubricante (6) es conducido el aceite a través de un segundo canal de la carcasa de válvula y a través de la

tubería de distribución (14) hasta el cárter del cigüeñal, cojinetes de bancada (13) y cojinetes abiertos (17) en la caja de ruedas. A través de los taladros para aceite en el cigüeñal se conduce aceite lubricante hasta cojinetes de biela (13) para pasar desde allí hasta el bulón de pistón (1) y, en el TDB440, hasta la refrigeración de pistones. Una segunda tubería de distribución (5) va empalmada directamente a la carcasa del filtro y se encarga de alimentar con aceite lubricante el árbol de levas (4), bomba de inyección (2) acción del regulador (18) y balancín (3). El aceite que salpica del mecanismo de accionamiento es conducido a través de tubería de retorno hasta el cárter aceite para ser de allí de nuevo aspirado

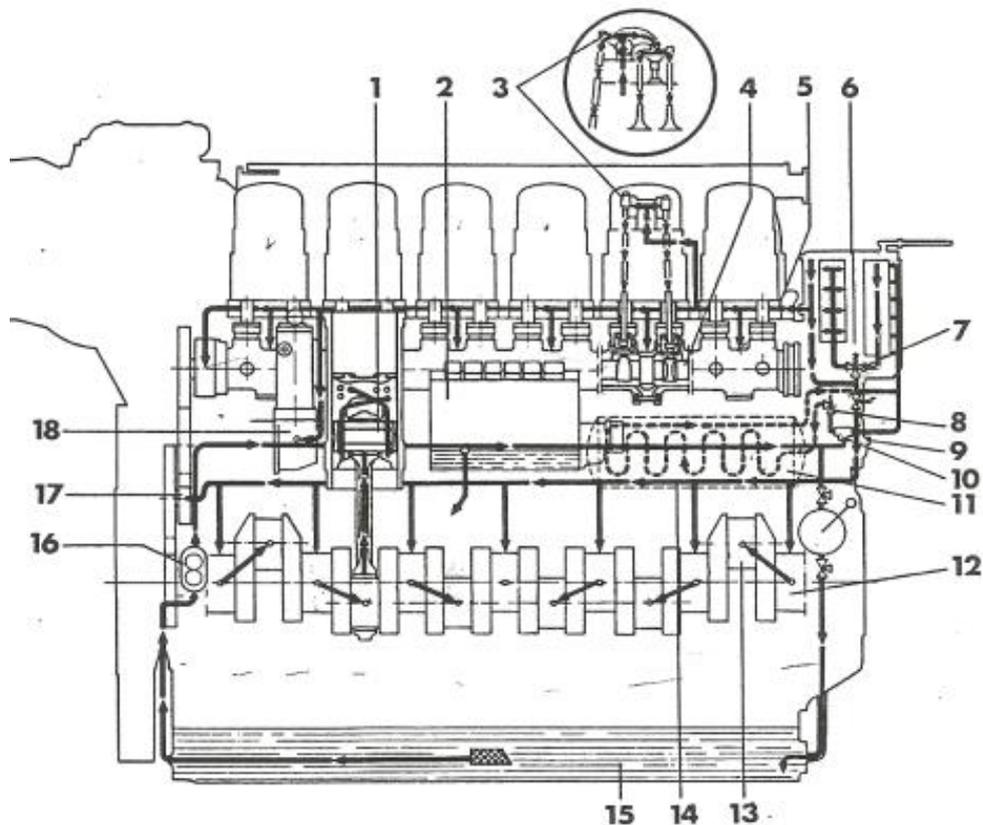


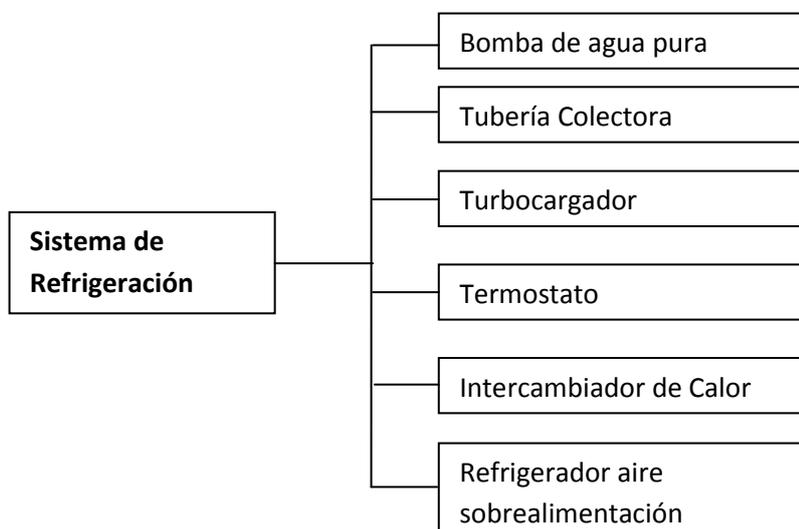
Figura 3.19: Sistema de Lubricación

1. Bulón de pistón
2. Bomba de Inyección
3. Balancín
4. Árbol de levas

5. Tubería de distribución
6. Filtro aceite lubricante
7. Válvula de desvío
8. Válvula de sobrepresión
9. Carcasa de válvula
10. Termostato
11. Radiador de aceite
12. Cojinete de bancada
13. Cojinete de biela
14. Tubería de distribución
15. Carter de aceite
16. Bomba aceite lubricante
17. Cojinete abierto acciona rueda dentada
18. Accionamiento del regulador

3.6.5. Sistema de Refrigeración

Está compuesto por los siguientes elementos:



La energía térmica originada por la combustión solo es posible transformarla parcialmente en energía mecánica.

El agua que fluye por el exterior de las paredes del recinto de combustión transporta una parte del calor residual para pasarlo en un refrigerador de retorno a un medio correspondiente (agua natural, aire ambiente). Otra parte del calor es absorbida por el aceite lubricante en la refrigeración de pistones y fricción de cojinetes, siendo refrigerado el aceite en el radiador de aceite. La elección de la clase de refrigeración depende de las condiciones correspondientes.

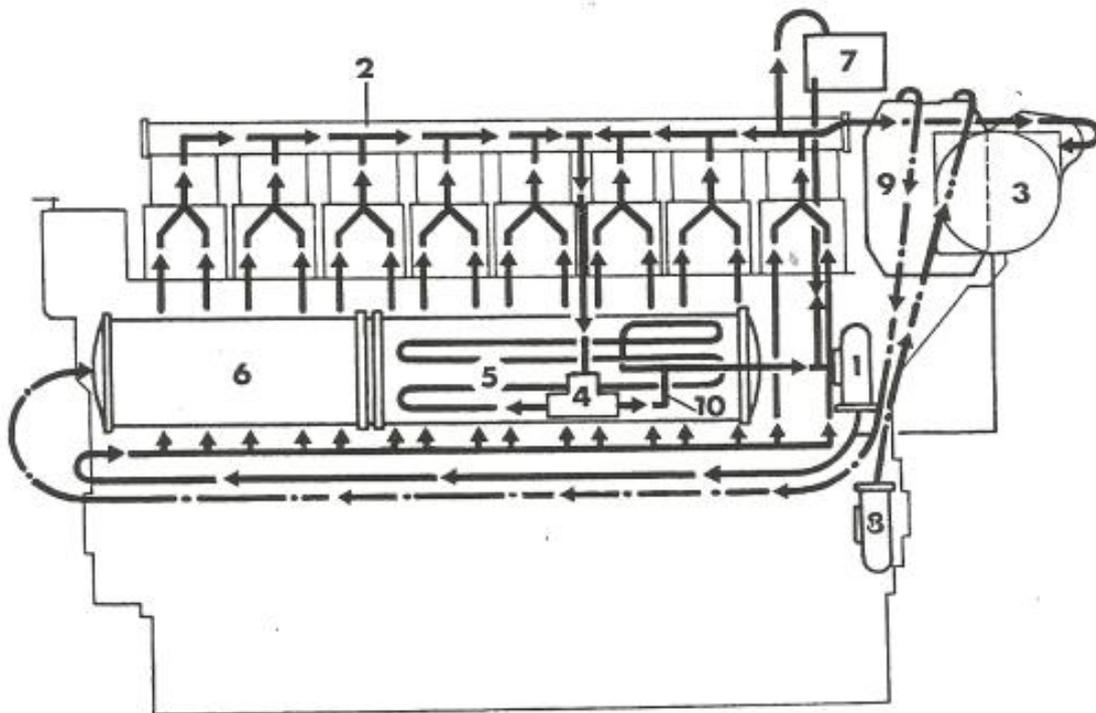


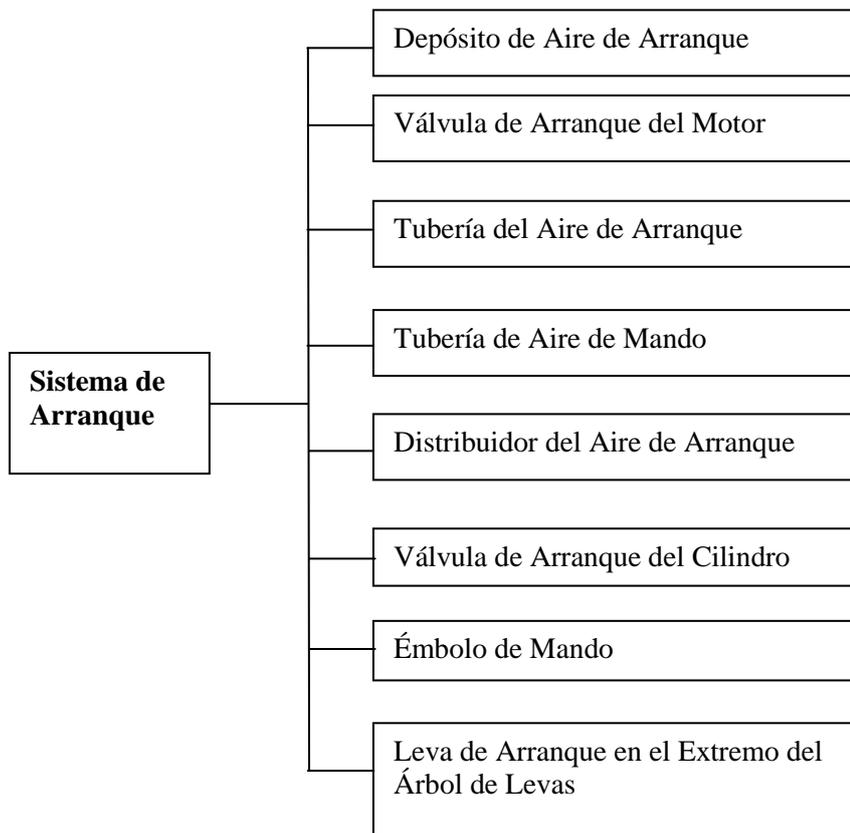
Figura 3.20: Sistema de Refrigeración

1. Bomba de agua pura
2. Tubería Colectora
3. Turbocargador
4. Termostato
5. Intercambiador de Calor

- 6. Radiador de Aceite
- 7. Depósito de Compensación
- 8. Bomba de agua natural
- 9. Refrigerador aire sobrealimentación
- 10. Tubería de cortocircuito

3.3.1.5. Sistema de Arranque

El sistema de arranque está compuesto por los siguientes elementos:



Para arrancar el motor, se conduce aire comprimido hacia los cilindros cuyos pistones acaban de sobrepasar el punto muerto de encendido. El aire comprimido se toma del depósito de aire de arranque. El aire llega a través de válvulas principales de arranque conectable hasta válvulas de arranque que van montadas en cabezas de cilindros. Además la válvula principal de arranque se encarga de alimentar también al distribuidor de aire de arranque. Este es

accionado por el árbol de levas y distribuye en momento oportuno el aire del distribuidor en válvulas de arranque de cilindros. Cuando al arrancar se alcanza el número de revoluciones de encendido, la válvula de arranque principal se cierra automáticamente o a mano. Un compresor se encarga de formar una presión de 30 bares en la botella de aire en cuanto la presión baja de 15 bares

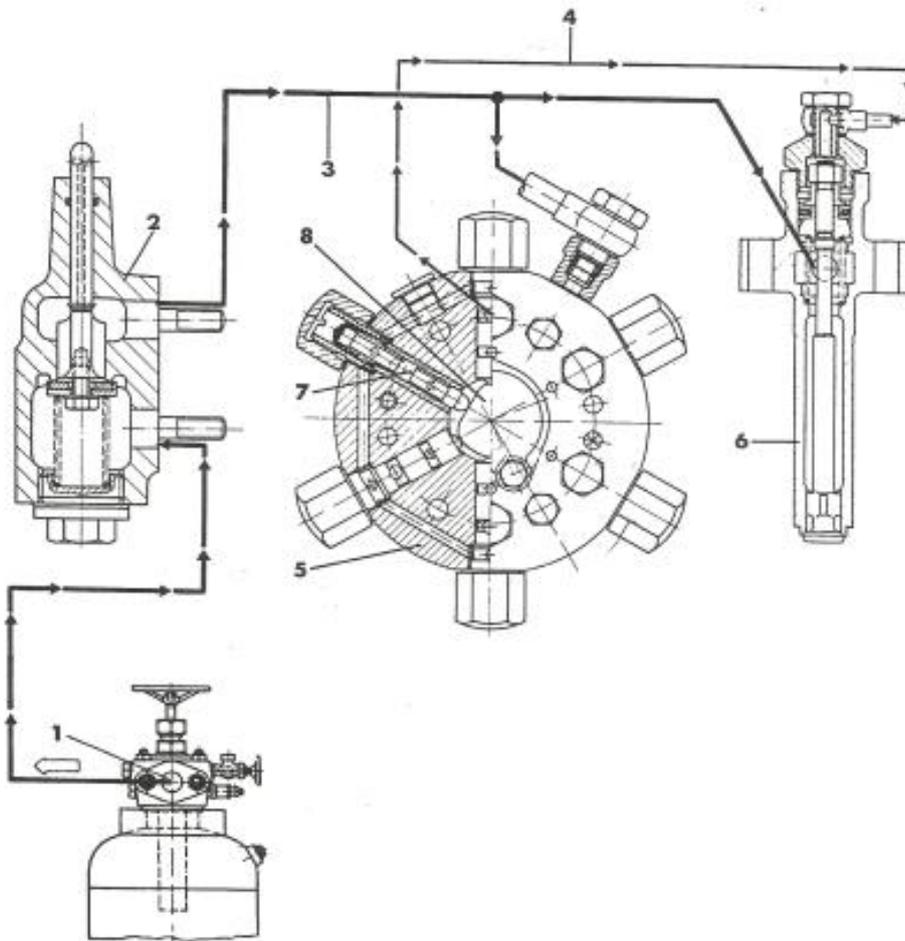


Figura 3.21: Sistema de Arranque

- 1.- Depósito de Aire de Arranque
- 2.- Válvula de Arranque del Motor
- 3.-Tubería del Aire de Arranque Principal
- 4.-Tubería de Aire de Mando

5.- Distribuidor del Aire de Arranque

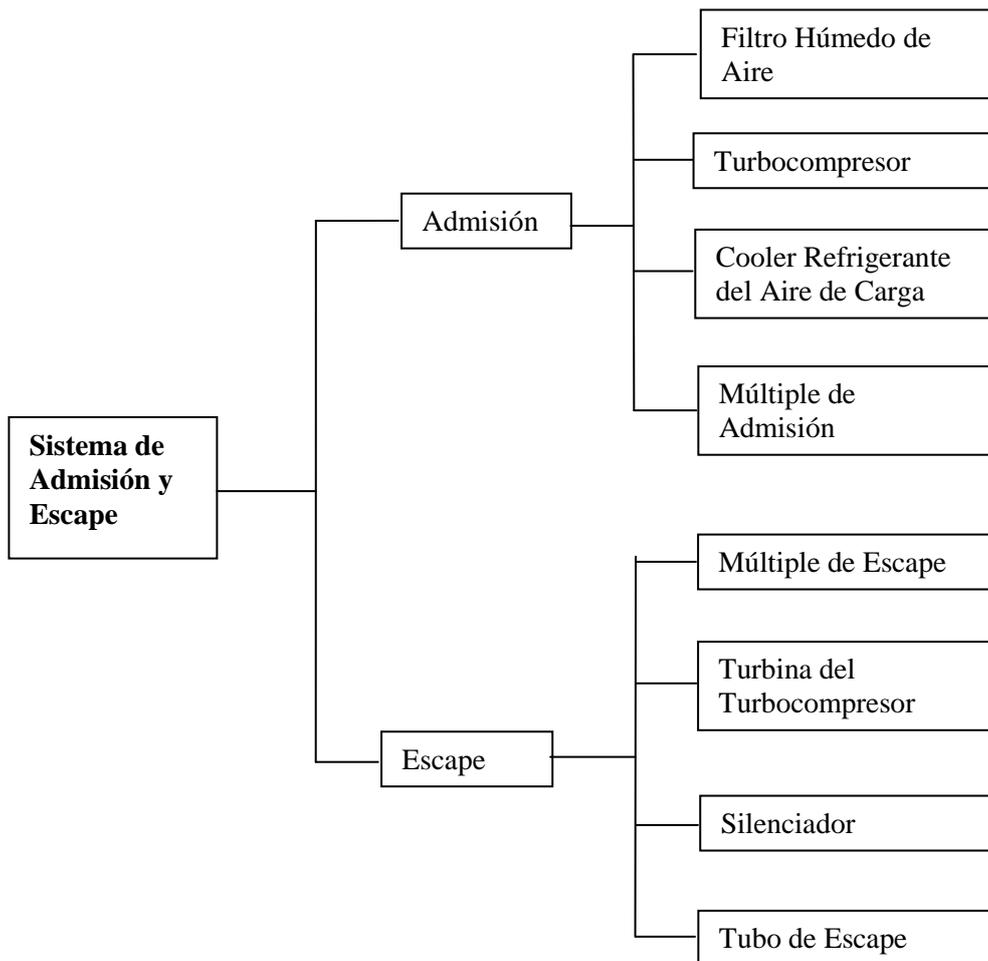
6.-Válvula de Arranque del Cilindro

7.-Émbolo de Mando

8.- Leva de Arranque en el Extremo del Árbol de Levas

3.3.1.6. Sistema de Admisión y Escape

La función que tiene el sistema de admisión y escape, es permitir el ingreso del aire que se encuentra en el medio ambiente a la cámara de combustión por medio de filtros y evacuado por medio del escape de vuelta a la atmosfera. Está compuesto por los siguientes elementos:



3.3.2. Incrementador de Velocidades Citroen – Messiah



Figura 3.22: Incrementador Citroen – Messiah.

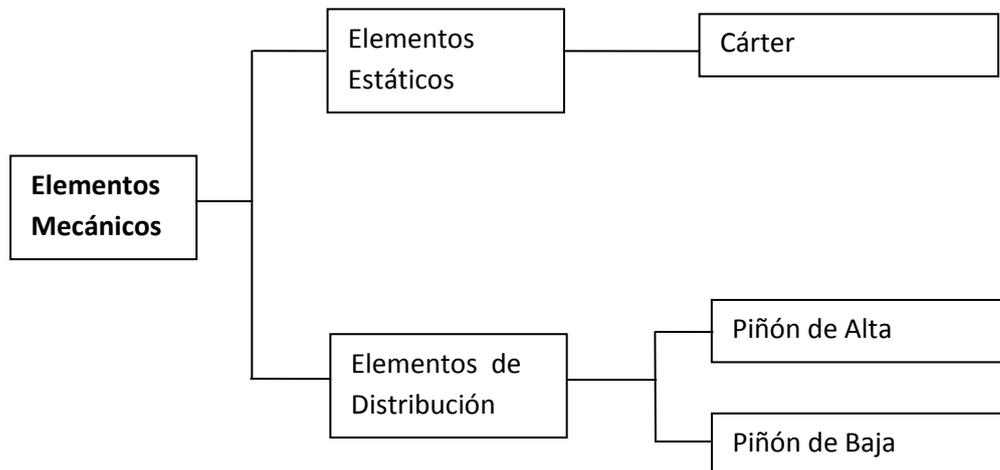
La función que tiene el incrementador, es aumentar a 4.5 veces las rpm que produce el motor, para que accione a la bomba Guinard, por medio de engranajes helicoidales. Las características principales del incrementador, se muestra en la siguiente Tabla 3.6.

Tabla 3.6: FICHA TÉCNICA DEL INCREMENTADOR DEL GRUPO P-303

		POLIDUCTO ESMERALDAS - SANTO DOMINGO – QUITO – MACUL			ESTACIÓN “FAISANES”	
FICHA TÉCNICA DEL INCREMENTADOR DEL GRUPO P – 303						
CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO						
Marca:	CITROEN-MESSIAN		Tipo:	H1H-16.4	N° de serie:	63254
Potencia:	1200 HP		Velocidad:	900 a 4011.42		
Maquina Motriz:	MCI Diesel de 8 cil.		Maquina Receptora:	Bomba Centrifuga GUINARD		
Engrase:	Por inyección		Cantidad de aceite:	250 lt. Aprox.		
PESO						
Incrementador:	1100 kg		Accesorios:	150 kg		
Tanque:	700 kg		Peso total del conjunto:	1950 kg		
DATOS DEL MOTOR AUXILIAR DE LUBRICACIÓN						
Marca:	CEN		Tipo:	N 112M		
Alimentación:	TRIFÁSICA		Forma:	B3/B5		
Velocidad:	1120 rpm		Potencia:	2.2 Kw		
Tensión:	110 V	Cos φ:	0.71	Frecuencia:	60 Hz	
Protección:	Antideflagrante		Aislamiento:	Clase A		
DATOS DE LA BOMBA DE LUBRICACIÓN						
Velocidad:	1120 rpm		Potencia:	2 Kw		

3.3.2.1. Elementos Mecánicos

Los elementos mecánicos del incrementador están constituidos por:



3.3.2.1.1. Elementos Estáticos

Es el cárter que protege a los elementos internos del incrementador.



Figura 3.23: Carcasa del incrementador

3.3.2.1.2. Elementos de Distribución

El incrementador de velocidades tiene un primer acoplamiento de diámetro mayor que viene desde el motor de combustión interna, el mismo que genera bajas revoluciones.

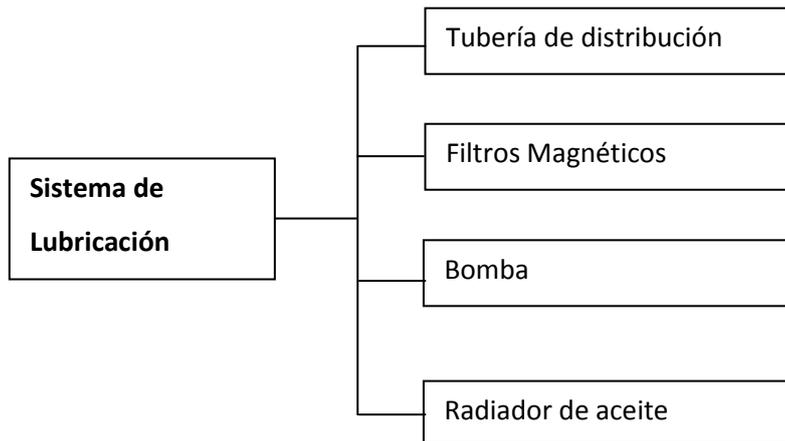
La función principal es incrementar a 4.5 veces la velocidad del MCI, esto se logra por medio de dos engranajes helicoidales, cuyo número de dientes son: $z_1=156$ y $z_2=35$. Posterior al incremento de velocidades se acopla a la bomba centrífuga Guinard por medio de un acople de menor diámetro debido al diámetro menor de z_2 ; el acoplamiento está compuesto por una manzana que está tanto en el eje del Incrementador como de la bomba y el acople o carrete que es el elemento conector.



Figura 3.24: Elementos de Distribución del Incrementador

3.3.2.2. Sistema de Lubricación

La función que tiene el sistema de lubricación es la de reducir la fricción y descargar el calor por medio de aceites lubricantes en los puntos de cojinetes, camisas de cilindros y pistones. Está compuesto por los siguientes elementos:



El incrementador tiene una lubricación forzada, la cual es dotada por medio de una bomba, la misma que todo el tiempo permite que el aceite re circule desde el cárter del incrementador hacia las ruedas dentadas, cumpliendo la función de lubricante y de refrigerante a la vez.

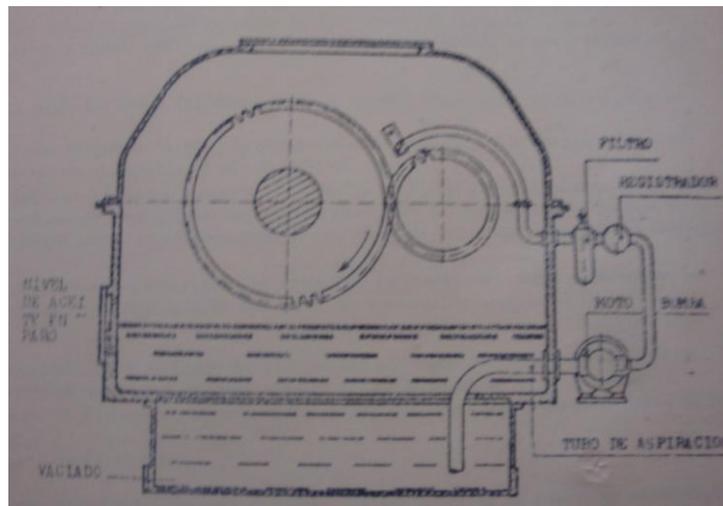


Figura3.25: Sistema de Lubricación

3.3.2.3. Sistema de Refrigeración

Para refrigerar el aceite que circula por los mecanismos del incrementador, se lo realiza por medio de un intercambiador de calor, en la cual se emplea el producto que se está bombeando para poder disminuir la temperatura del aceite.



Figura 3.26: Sistema de Refrigeración

3.3.3. Bomba Guinard [12]



Figura 3.27: Bomba Multietapa de 5 etapas tipo BB3 marca Guinard

La función que tiene la Bomba Guinard es la de transportar los diferentes productos, que recibe desde la Estación Santo Domingo, con un caudal y presión necesarios para poder entregar a la siguiente estación.

Tabla 3.7: FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA DEL GRUPO P-303

	POLIDUCTO ESMERALDAS - SANTO DOMINGO – QUITO – MACUL		ESTACIÓN “FAISANES”
FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA DEL GRUPO P-303			
DATOS TÉCNICOS			
Marca:	GUINARD	Modelo:	DVMX 4x6x10C
N° de Serie:	4657492	N° Etapas:	Horizontal de 5E
Velocidad	3900 rpm	Potencia:	961 HP
CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO			
Caudal:	111 a 338 m ³ /h	T° de Servicio:	60-90 °F
Tipo de Operación:	En Serie	Peso Especifico:	0.865
Presión de Succión:	50 PSI g	Presión de Descarga:	1900PSI g
Rodamiento Radial:	LISSE	Rodamiento Axial:	73112 86

La bomba centrífuga tiene una forma compacta y su estructura es relativamente sencilla. El combustible es impulsado por fuerzas centrífugas que se originan por el movimiento giratorio del rodete de la bomba.

- **Cuerpo de la Bomba**

El cuerpo de la bomba centrífuga de multi-impulsores, está dispuesto en dos partes, en forma de cámara partida, es decir, con plano de junta horizontal siguen el eje, con fijación por pasadores roscados (espárragos). Las cámaras espirales son de doble abertura y están opuestas diametralmente, para conseguir el equilibrio radial.



Figura 3.28: Cuerpo de la Bomba Guinard

Se encuentra formado por:

- Los canales de conexión entre etapas.
- Los orificios roscados para salida del aire
- Las argollas para levantamiento

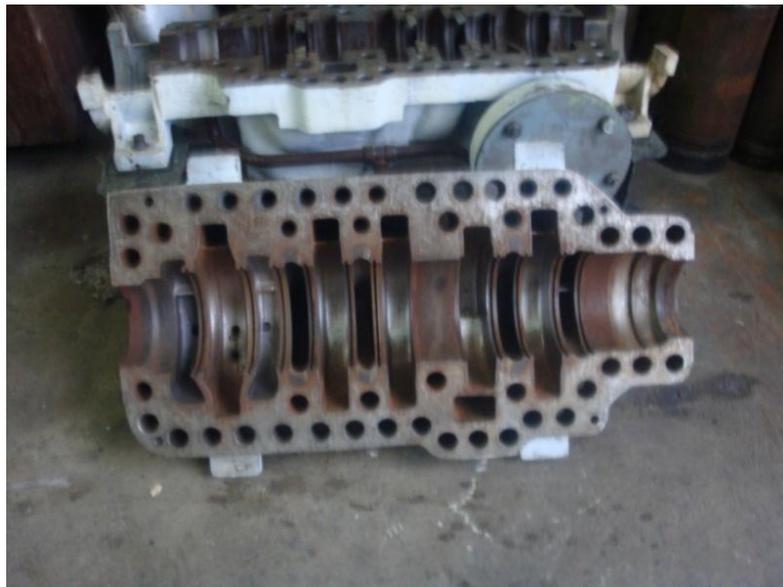


Figura 3.29: Semicuerpo de la Bomba Guinard

El cuerpo de la bomba está dotado por:

- De casquillos de desgaste, cuya rotación es impedida por medio de espigas.
- De un cojinete de hermeticidad central, en dos partes, cuya rotación es impedida por medio de un punto fijo.
- De un cojinete de equilibrado, cuya rotación es impedida también por medio de un punto fijo.

El cuerpo de la bomba toma apoyo sobre su base, por medio de cuatro zapatas laterales que forman parte integrante de los soportes del semicuerpo central.

- **Cojinete Impulsor**

El cojinete impulsor de la bomba está formado por:

- Un eje de la bomba, calculado ampliamente en cuanto a sus dimensiones.
- Los rodets dispuestos en oposición y en correspondencia con los canales de aspiración y cámaras espirales del cuerpo de la bomba
- Los espaciadores entre rodets.
- Una camisa central de hermeticidad.
- Una camisa de equilibrado
- Las camisas de eje para empaquetaduras mecánicas

Los soportes de cojinete

- El semimanguito de acoplamiento
- La tuerca de bloqueo del rodete

-El anillo guía de la camisa de equilibrado (Anillo en dos partes)

- **Rodetes**



Figura 3.30: Rodetes de la Bomba Guinard

Los rodetes, dotados de casquillos de desgaste, intercambiables, quedan esmeradamente equilibrados después de su mecanización.

Estos van montados sobre el eje con espaciadores y bloqueados por la tuerca

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES DE FIABILIDAD

4.1. Determinación de los índices de fiabilidad

La determinación de los parámetros de forma y vida característica, así como también los modelos matemáticas de los índices de fiabilidad que rigen el comportamiento para este grupo de bombeo, serán determinadas y evaluadas utilizando la distribución de probabilidades de Weibull, a través del software FIASOFT.

4.1.1. Metodología

- Historial de fallas
- Determinación de los tiempos de buen funcionamiento.
- Clasificación de los tiempos de buen funcionamiento en orden creciente.
- Determinación de la Infiabilidad no paramétrica
- Determinación de los parámetros Weibull β y α .
- Determinar los índices de fiabilidad:
 - Densidad de probabilidades
 - Tasa de fallos
 - Fiabilidad o probabilidades de trabajo sin fallo
 - Fiabilidad o probabilidad de trabajo con fallo
 - TMEF

4.2. Determinación de las fallas en el grupo de bombeo

La determinación de las fallas en cada sistema del grupo de bombeo se realiza con los datos registrados en la bitácora de mantenimiento, considerando que el grupo sale de servicio por una falla y por actividades de mantenimiento programado, por lo cual es necesario considerar las actividades registradas realizadas por evento de una falla.

Este grupo de bombeo inició sus trabajos de operación en el año de 1980, sin embargo, se ha considerado tomar en cuenta únicamente las fallas que se han producido desde el último over hall hasta la actualidad, ya que de esta manera se obtendrá datos más reales que servirán para realizar un análisis más exacto (ver Anexo 7).

4.2.1. Registro de fallas en el motor

Las fallas producidas únicamente en el Motor MWM, registradas en la bitácora de mantenimiento, se muestra en la Tabla 4.1, en donde también se indican las horas de funcionamiento que tuvo el grupo de bombeo cuando se produjo dicha falla.

Tabla 4.1: REGISTRO DE FALLAS EN EL MOTOR

REGISTRO DE FALLAS EN EL MOTOR			
Desde: septiembre del 2008		Hasta: septiembre del 2011	
N°	FECHA	FALLA	HORAS DE FUNCIONAMIENTO
1	10/10/2008	Se realiza cambio de bomba de transferencia de combustible, por encontrarse en mal estado	206
3	19/12/2008	Fuera de servicio por fuga de aire en válvulas de arranque manual	1341
4	09/03/2009	Rotura de banda de bomba de polea (sistema de agua para enfriamiento del block)	2658
5	09/04/2009	Cambio de 2 plug-in (resortes), por encontrarse fugas	3154
7	13/07/2009	Presenta fuga de combustible en la entrada a la bomba de inyección (cambio de anillo de cobre)	4538
9	31/10/2009	Presenta problemas en el múltiple de escape de la culata #2	6049
11	14/12/2009	Se repara fuga de aceite en la cañería del motor de prelubricación	6621
12	30/12/2009	Cambio de bomba de agua de engranaje, por estar taponado	6823
13	22/01/2010	Se corrigen fugas de aceite por cañerías de termostato a cárter	7127
18	10/04/2010	Se cambia 2 empaques de asbesto del turbo hacia el escape por encontrarse deteriorado	8130
19	19/05/2010	Se cambia la junta del retorno y el inyector la de culata #5 por encontrarse rota	8626
25	03/12/2010	Se repara fuga de aceite en la cañería del motor de prelubricación	10636
26	26/12/2010	Se cambia la junta del retorno y el inyector la de culata #5 por encontrarse rota	11018
28	12/04/2011	Presenta problemas en el sistema de arranque (se traba el volante)	12698
35	12/09/2011	Sale el grupo por fuga de aceite en el termostato	15267
36	19/09/2011	Fuera de servicio por presencia de agua en el block, se realiza cambio de culatas	15441

4.2.2. Registro de fallas en el incrementador

Las fallas producidas únicamente en el incrementador de velocidades, se muestra en la Tabla 4.3, en donde se indica también, las horas de funcionamiento que tuvo el grupo de bombeo cuando se produjo dicha falla.

Tabla 4.2: REGISTRO DE FALLAS EN EL INCREMENTADOR

REGISTRO DE FALLAS EN EL INCREMENTADOR DEL GRUPO DE BOMBEO P-303			
Desde: septiembre del 2008		Hasta: septiembre del 2011	
N°	FECHA	FALLA	HORAS DE FUNCIONAMIENTO
2	12/12/2008	No arranca el grupo por existir exceso de temperatura en el cojinete interior de alta velocidad	1302
6	28/05/2009	Se realiza cambio de manzana y corona en el acople (incrementador-bomba) por encontrarse en mal estado	4296
15	18/03/2010	Se realiza cambio de manzana y corona en el acople (incrementador-bomba) por encontrarse en mal estado	7772
16	28/03/2010	No arranca el grupo por existir exceso de temperatura en el cojinete interior de alta velocidad	7923
20	01/07/2010	Se cambia piñón de alta velocidad del incrementador por tener desgaste excesivo en los dientes	9248
22	26/08/2010	Se realiza cambio de manzana y corona en el acople (incrementador-bomba) por encontrarse en mal estado	10010
23	01/09/2010	No arranca el grupo por existir exceso de temperatura en el cojinete interior de alta velocidad	10068
27	12/02/2011	No arranca el grupo por existir exceso de temperatura en el cojinete interior de alta velocidad	11687
30	09/07/2011	Se realiza cambio de manzana y corona en el acople (incrementador-bomba) por encontrarse en mal estado	14217
31	13/07/2011	No arranca el grupo por existir exceso de temperatura en el cojinete interior de alta velocidad	14304

4.2.3. Registro de fallas en la bomba

Las fallas producidas únicamente en la bomba Guinard, se muestra en la Tabla 11, en donde se indica también las horas de funcionamiento que tuvo el grupo de bombeo cuando se produjo dicha falla.

Tabla 4.3: REGISTRO DE FALLAS EN LA BOMBA

REGISTRO DE FALLAS DEL GRUPO DE BOMBEO P-303			
Desde: septiembre del 2008		Hasta: septiembre del 2011	
N°	FECHA	FALLA	HORAS DE FUNCIONAMIENTO
8	29/08/2009	Cambio de sello y cojinete interior de la bomba Guinard, por fugas de producto	5153
10	20/11/2009	Cambio de sello mecánico de cojinete interior de la bomba Guinard, por desgaste	6222
14	01/03/2010	Fuera de servicio por fuga en cañería de bomba	7612
17	07/04/2010	Se cambia neplo de cañería de refrigeración de cojinete exterior de bomba Guinard, por tener fuga de producto	8083
21	14/07/2010	Se cambia neplo de cañería de refrigeración de cojinete exterior, por tener fuga de producto	9358
24	25/11/2010	Cambio del eje y los impulsores de la bomba por encontrarse con fisuras	10554
29	05/07/2011	Se corrige fuga de aceite por la cañería del cojinete interior de la bomba Guinard	14195
32	31/07/2011	Se cambia neplo de cañería de refrigeración de cojinete exterior de bomba Guinard, por tener fuga de producto	14625
33	10/08/2011	Se cambia neplo de cañería de refrigeración de cojinete exterior de bomba Guinard, por tener fuga de producto	14764
34	05/09/2011	Se cambia neplo de cañería de refrigeración de cojinete exterior de bomba Guinard, por tener fuga de producto	15166

4.3. Determinación del tiempo de buen funcionamiento en el grupo de bombeo

Para la determinación de los tiempos de buen funcionamiento en el grupo de bombeo, se efectúa considerando los tiempos registrados en la bitácora de mantenimiento entre dos fallos sucesivos, esto se obtiene, restando la hora de funcionamiento que tenía el grupo cuando se produjo una falla y la hora anterior con relación a ésta, para ello es necesario clasificarlos por sistemas a los que pertenece dichos fallos; teniendo de esta manera, tres sistemas, los cuales son:

- Sistema de Potencia: Motor

- Sistema de Transmisión: Incrementador

- Sistema de Bombeo: Bomba

4.3.1. Determinación del tiempo de buen funcionamiento en el Sistema de Potencia

En la Tabla 4.5 se muestra el tiempo de buen funcionamiento en el Sistema de Potencia, es decir el tiempo que se produjo entre dos fallas sucesivas, restando sus horas que tenían cuando se produjeron dichas fallas. En esta Tabla también se ordena en orden creciente estas horas de buen funcionamiento.

Tabla 4.4: TIEMPO DE BUEN FUNCIONAMIENTO EN EL SISTEMA DE POTENCIA

TIEMPO DE BUEN FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE POTENCIA: MOTOR		
N°	TBF	ORDENADO
1	206	174
2	1135	202
3	1317	206
4	496	304
5	1384	382
6	1511	496
7	572	496
8	202	572
9	304	1003
10	1003	1135
11	496	1317
12	2010	1384
13	382	1511
14	1680	1680
15	2569	2010
16	174	2569

4.3.2. Determinación del tiempo de buen funcionamiento en el Sistema de Transmisión

En la Tabla 4.6 se muestra el tiempo de buen funcionamiento en el Sistema de Transmisión, de manera similar que en el Sistema de Potencia. En esta Tabla también se ordena en orden creciente estas horas de buen funcionamiento.

Tabla 4.5: TIEMPO DE BUEN FUNCIONAMIENTO EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

TIEMPO DE BUEN FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN: INCREMENTADOR		
N°	TBF	ORDENADO
1	1302	58
2	2994	87
3	3476	151
4	151	762
5	1325	1302
6	762	1325
7	58	1619
8	1619	2530
9	2530	2994
10	87	3476

4.3.3. Determinación del tiempo de buen funcionamiento en el Sistema de Bombeo

En la Tabla 4.7 se muestra el tiempo de buen funcionamiento en el Sistema de Bombeo, de manera similar que en el Sistema de Potencia. En esta Tabla también se ordena en orden creciente estas horas de buen funcionamiento.

Tabla 4.6: TIEMPO DE BUEN FUNCIONAMIENTO EN EL SISTEMA DE BOMBEO

REGISTRO DEL TIEMPO DE BUEN FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO: BOMBA		
N°	TBF	ORDENADO
1	5153	139
2	1069	402
3	1390	430
4	471	471
5	1275	1069
6	1196	1196
7	3641	1275
8	430	1390
9	139	3641
10	402	5153

4.4. Determinación de los parámetros e índices de fiabilidad

Para la determinación de los parámetros de forma y de vida característica, así como también los índices de fiabilidad en cada uno de los sistemas que conforman el grupo de bombeo, se utiliza el Software Fiasoft, ya que los valores obtenidos son más exactos y más reales que un método analítico. Además este software nos permite obtener unas gráficas que nos ayuda a interpretar los índices de fiabilidad y como va variando en cuanto transcurre el tiempo.

4.4.1 Sistema de potencia: Motor

La Figura 4.1 muestra los datos de las fallas que se ingresan en forma creciente en el software Fiasoft; y la in fiabilidad no paramétrica, tanto en porcentajes como en tanto por uno, para cada falla producida en el sistema de potencia.

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	174,00	F	0,0427	4,27%
2	202,00	F	0,1037	10,37%
3	206,00	F	0,1646	16,46%
4	304,00	F	0,2256	22,56%
5	382,00	F	0,2866	28,66%
6	496,00	F	0,3476	34,76%
7	496,00	F	0,4085	40,85%
8	572,00	F	0,4695	46,95%
9	1.003,00	F	0,5305	53,05%
10	1.135,00	F	0,5915	59,15%
11	1.317,00	F	0,6524	65,24%
12	1.384,00	F	0,7134	71,34%
13	1.511,00	F	0,7744	77,44%
14	1.680,00	F	0,8354	83,54%
15	2.010,00	F	0,8963	89,63%
16	2.569,00	F	0,9573	95,73%

Figura 4.1: Cálculo de la Infiabilidad no Paramétrica en el Sistema de Potencia

Para la determinación de los parámetros de forma y vida característica en el sistema de potencia a través del software Fiasoft, se lo ha realizado por medio del papel de Weibull, en donde linealiza todos los puntos ingresados y calculados, teniendo en cuenta que en el eje horizontal se encuentran las horas registradas para cada falla, y en el eje vertical el porcentaje de infiabilidad para cada falla producida. Estos valores se representan en la gráfica 4.2.

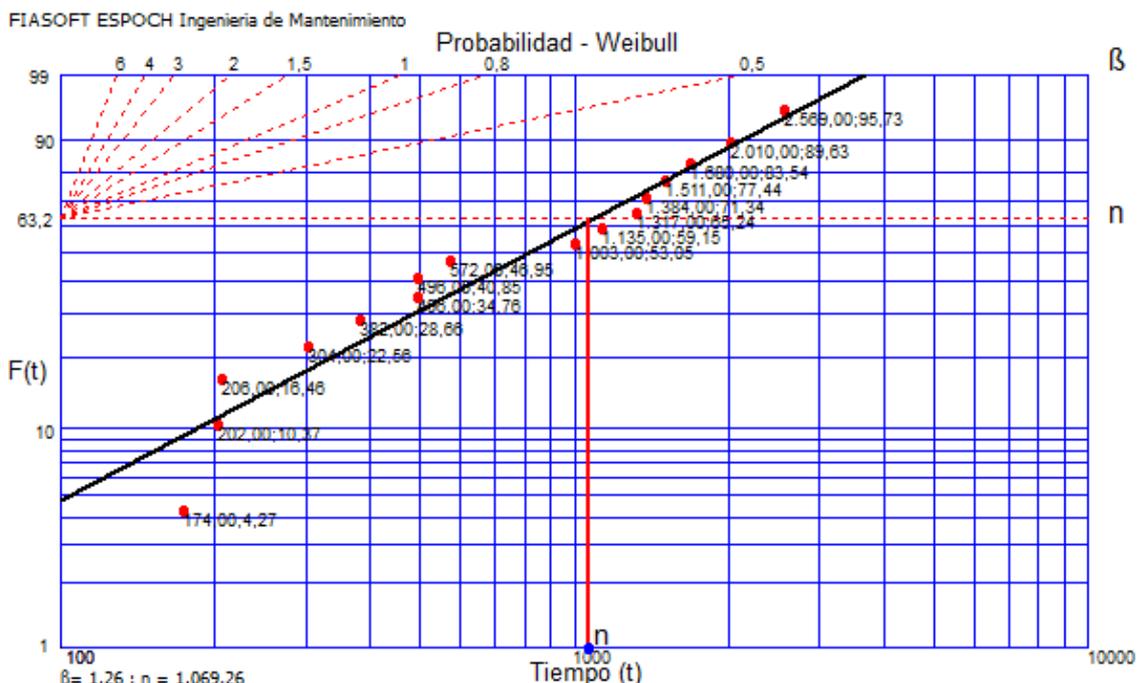


Figura 4.2: Probabilidad. Weibull en el Sistema de Potencia

De esta manera se obtiene el valor del parámetro de vida característica, ubicado en el eje horizontal, con un valor de 1069.26 horas y el parámetro de forma, cuya pendiente es paralela a la línea punteada ubicada en la parte superior izquierda con un valor de 1,26. Estos valores se indican en la Figura 4.3.

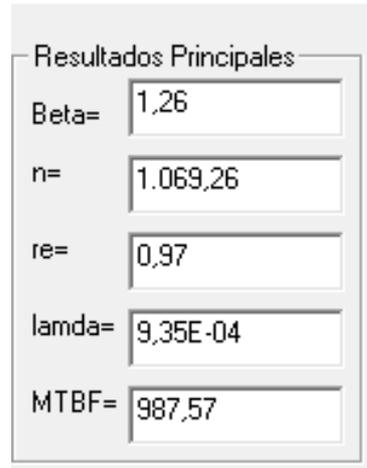


Figura 4.3: Parámetros de Fiabilidad en el Sistema de Potencia

La Figura 4.4 representa la curva de la fiabilidad en el sistema de potencia, en donde se observa que a medida que transcurre el tiempo el valor de la fiabilidad decrece.

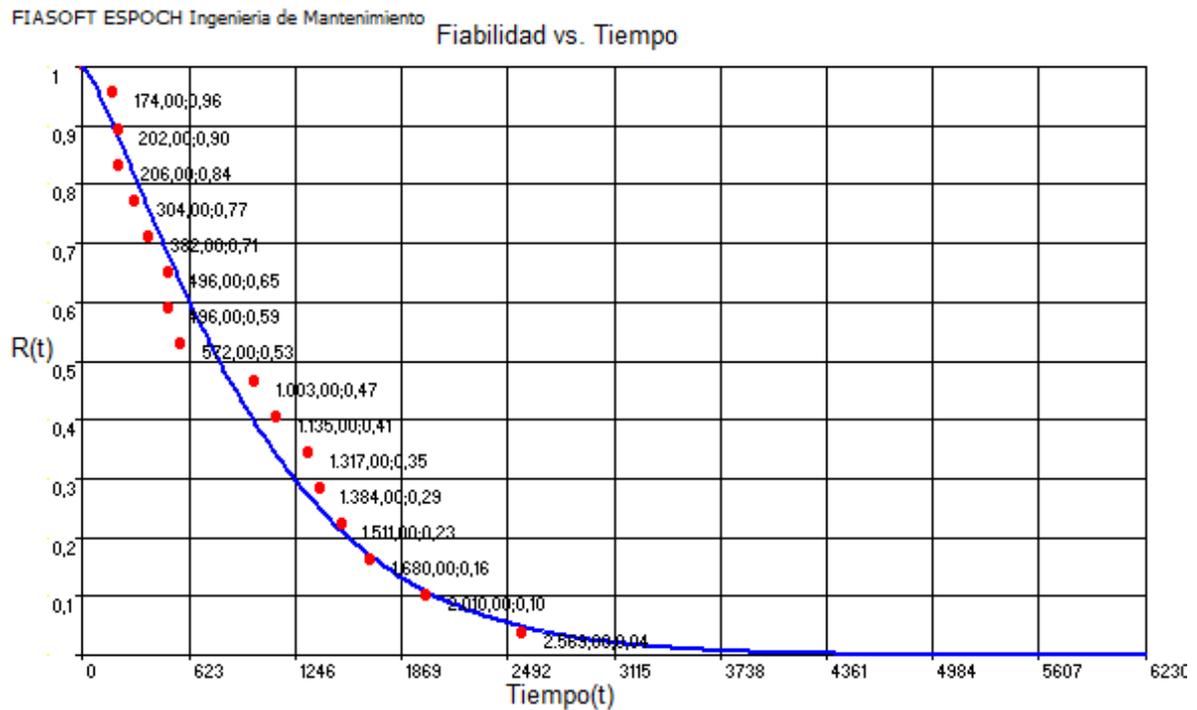


Figura 4.4: Fiabilidad vs. Tiempo en el Sistema de Potencia

La Figura 4.5 representa la curva de la infiabilidad en el sistema de potencia, en donde se observa que a medida que transcurre el tiempo el valor de la infiabilidad aumenta

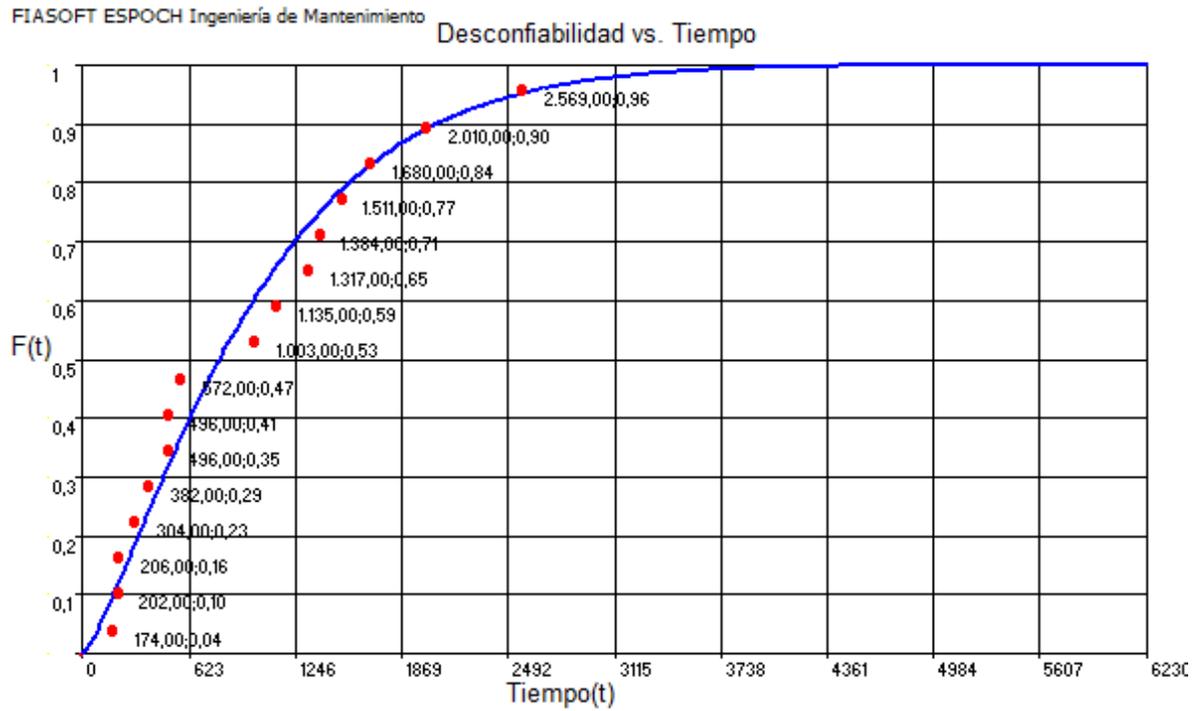


Figura 4.5: Infiabilidad vs. Tiempo en el Sistema de Potencia

La Figura 4.6 representa la función de densidad de probabilidad.

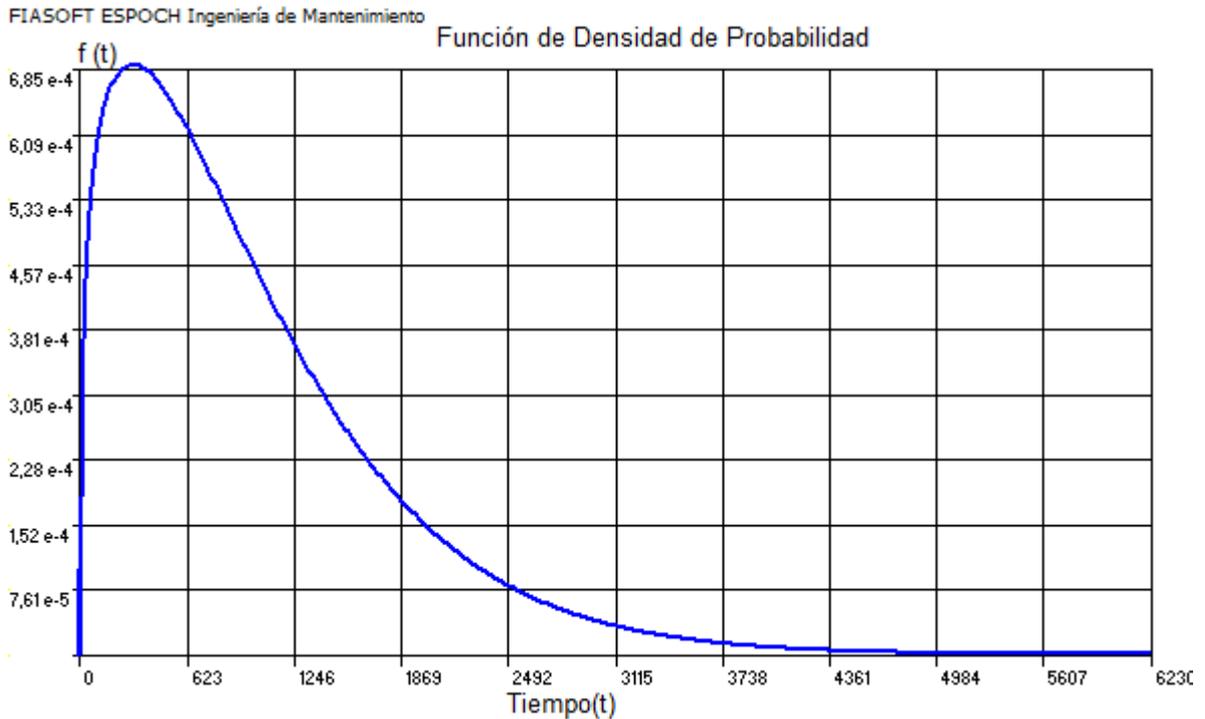


Figura 4.6: Función de Densidad de Probabilidad en el Sistema de Potencia

La Figura 4.7 muestra la gráfica de la tasa de fallas en relación al tiempo en el sistema de potencia.

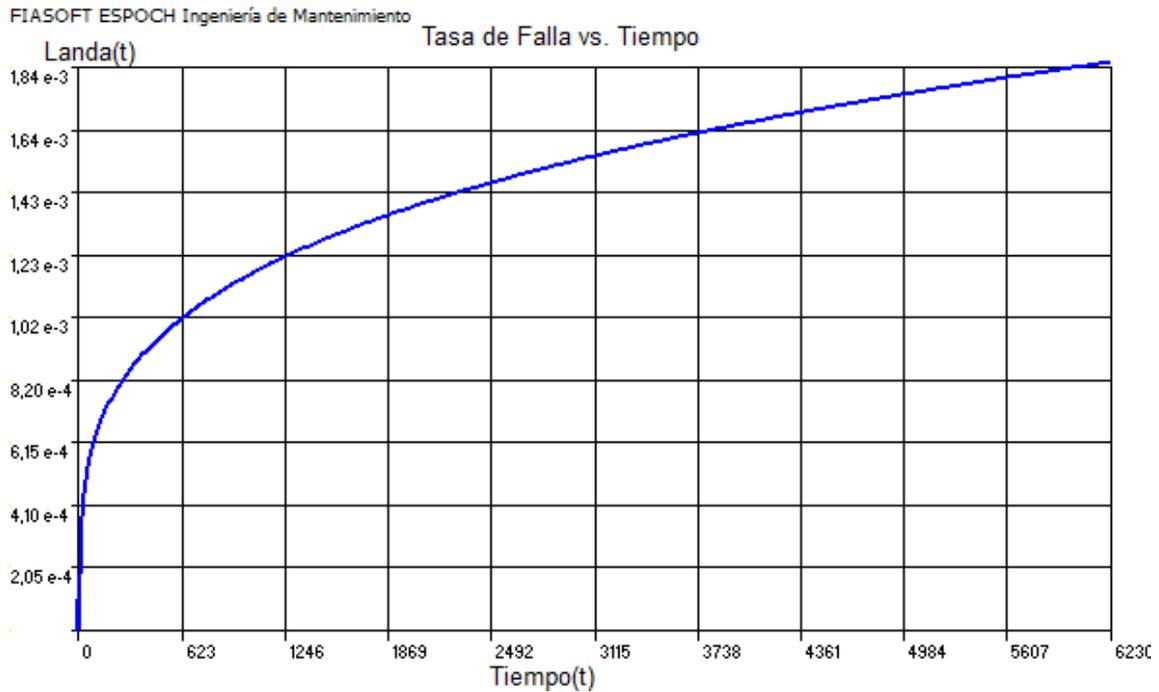


Figura 4.7: Tasa de Fallas vs. Tiempo en el Sistema de Potencia

4.4.1.1. Funciones de los índices de fiabilidad

Los parámetros de forma y vida característica obtenidos, reemplazamos en las ecuaciones de Weibull. De esta manera se puede determinar los índices de fiabilidad para un tiempo determinado.

- **Fiabilidad**

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1069,26}\right)^{1,26}}$$

- **Infiabilidad**

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1069,26}\right)^{1,26}}$$

- **Tasa de Fallos $\lambda(t)$**

$$\lambda(t) = \frac{1,26}{1069,26} * \left(\frac{t}{1069,26}\right)^{1,26-1}$$

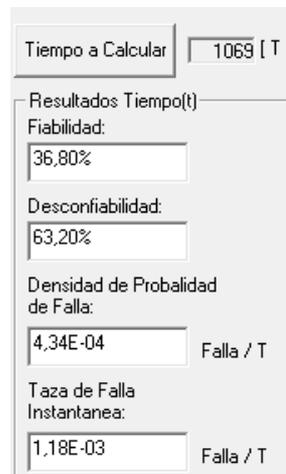
- **Densidad de Probabilidad de Fallo $f(t)$**

$$f(t) = \frac{1,26}{1069,26} * \left(\frac{t}{1069,26}\right)^{1,26-1} * e^{-\left(\frac{t}{1069,26}\right)^{1,26}}$$

- **Duración de vida (t) asociada a un nivel de fiabilidad $R(t)$**

$$t = 1069,26 * \text{Ln}\left(\frac{1}{R(t)}\right)^{\frac{1}{1,26}}$$

Por medio del software Fiasoft se ha determinado los índices de fiabilidad para un tiempo de 1069 horas, el cual representa el tiempo probable de buen funcionamiento del sistema de potencia antes de que aparezca otra falla. Estos valores se muestran en las Figuras 4.8.



Tiempo a Calcular	1069 [T]
Resultados Tiempo(t)	
Fiabilidad:	36,80%
Desconfiabilidad:	63,20%
Densidad de Probabilidad de Fallo:	4,34E-04 Fallo / T
Taza de Fallo Instantanea:	1,18E-03 Fallo / T

Figura 4.8: Índices de fiabilidad para un tiempo de 1069 horas en el Sistema de Potencia

4.4.2. Sistema de Transmisión: Incrementador

La Figura 4.9 muestra los datos de las fallas que se ingresan en forma creciente en el software Fiasoft; y la in fiabilidad no paramétrica, tanto en porcentajes como en tanto por uno, para cada falla producida en el sistema de transmisión.

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	58,00	F	0,0673	6,73%
2	87,00	F	0,1635	16,35%
3	151,00	F	0,2596	25,96%
4	762,00	F	0,3558	35,58%
5	1.302,00	F	0,4519	45,19%
6	1.325,00	F	0,5481	54,81%
7	1.619,00	F	0,6442	64,42%
8	2.530,00	F	0,7404	74,04%
9	2.994,00	F	0,8365	83,65%
10	3.476,00	F	0,9327	93,27%

Figura 4.9: Cálculo de la Infiabilidad no Paramétrica en el Sistema de Transmisión

Para la determinación de los parámetros de forma y vida característica en el sistema de transmisión a través del software Fiasoft, se lo ha realizado a través del papel de Weibull, al igual que en el sistema de potencia, en donde linealiza todos los puntos ingresados y calculados, teniendo en cuenta que en el eje horizontal se encuentran las horas registradas para cada falla, y en el eje vertical el porcentaje de infiabilidad para cada falla producida. Estos valores se representan en la Figura 4.10.

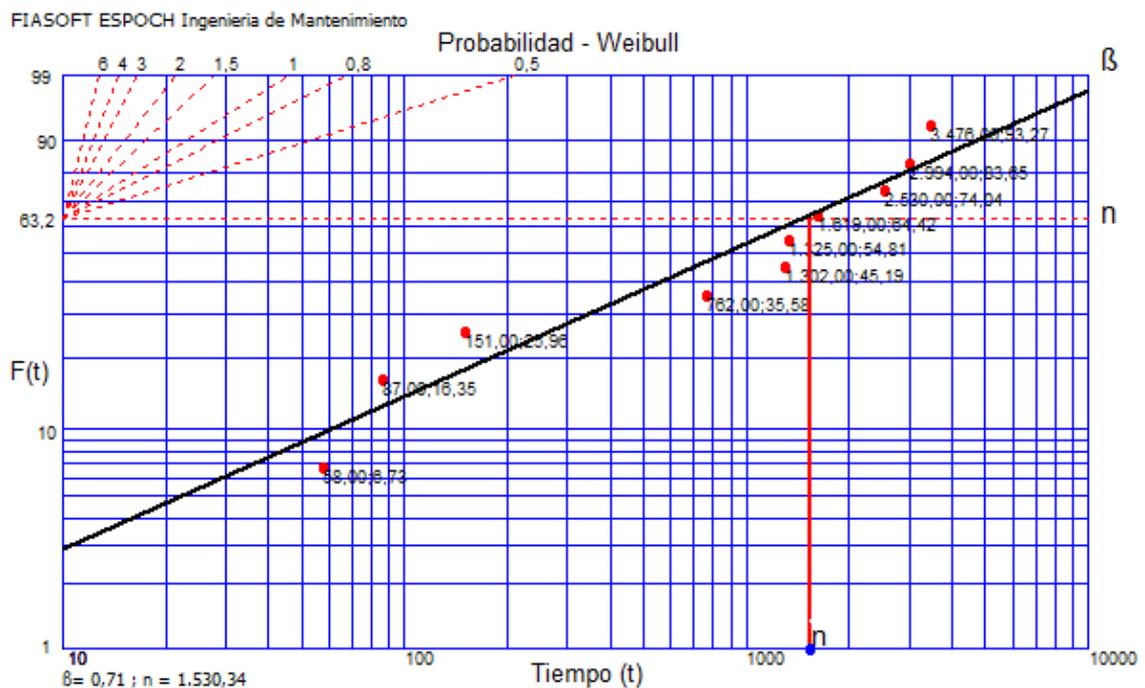


Figura 4.10: Probabilidad-Weibull en el Sistema de Transmisión

De esta manera se obtiene el valor del parámetro de vida característica, ubicado en el eje horizontal, con un valor de 1530,34 horas y el parámetro de forma, cuya gráfica es paralela a la línea punteada ubicada en la parte superior izquierda con un valor de 0,71. Estos valores se indican en la Figura 4.11.



Figura 4.11: Parámetros de Fiabilidad en el Sistema de Transmisión

La Figura 4.12 representa la curva de la fiabilidad en el sistema de transmisión, en donde se observa que a medida que transcurre el tiempo el valor de la fiabilidad decrece.

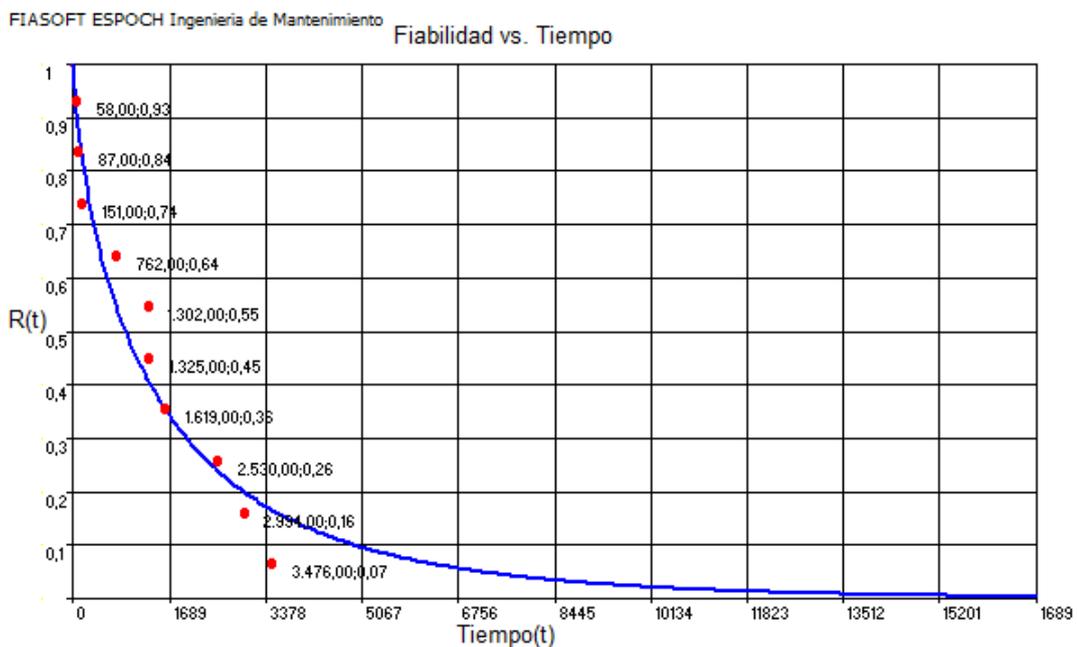


Figura 4.12: Fiabilidad vs. Tiempo en el Sistema de Transmisión

La Figura 4.13 representa la curva de la infiabilidad en el sistema de transmisión, en donde se observa que a medida que transcurre el tiempo el valor de la infiabilidad aumenta

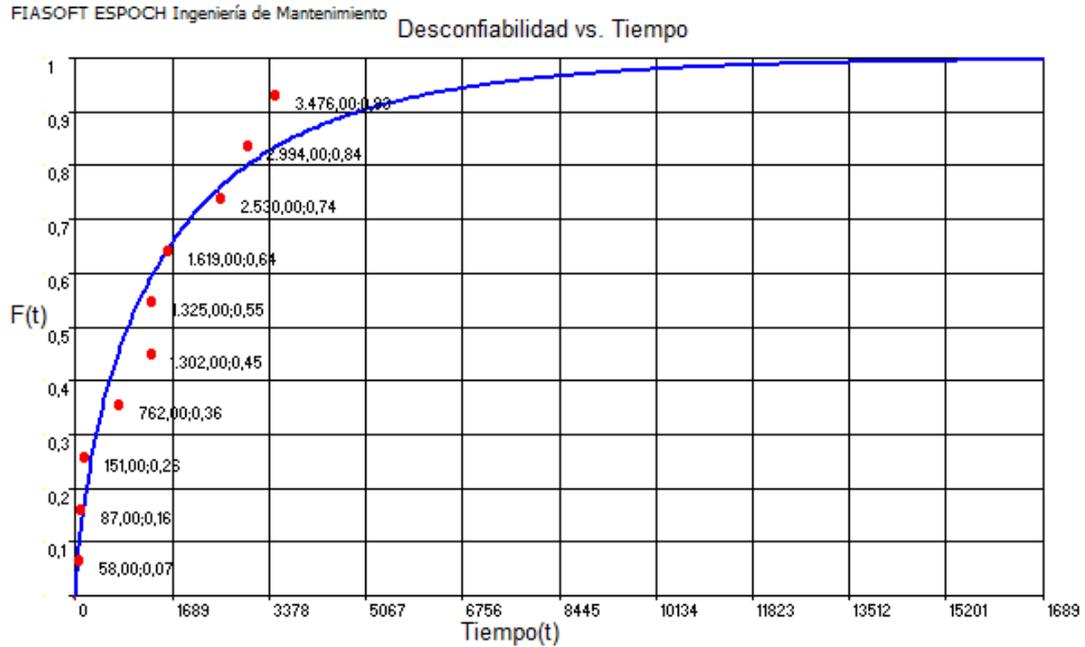


Figura 4.13: Infiabilidad vs. Tiempo en el Sistema de Transmisión.

La Figura 4.14 representa la función de densidad de probabilidad.

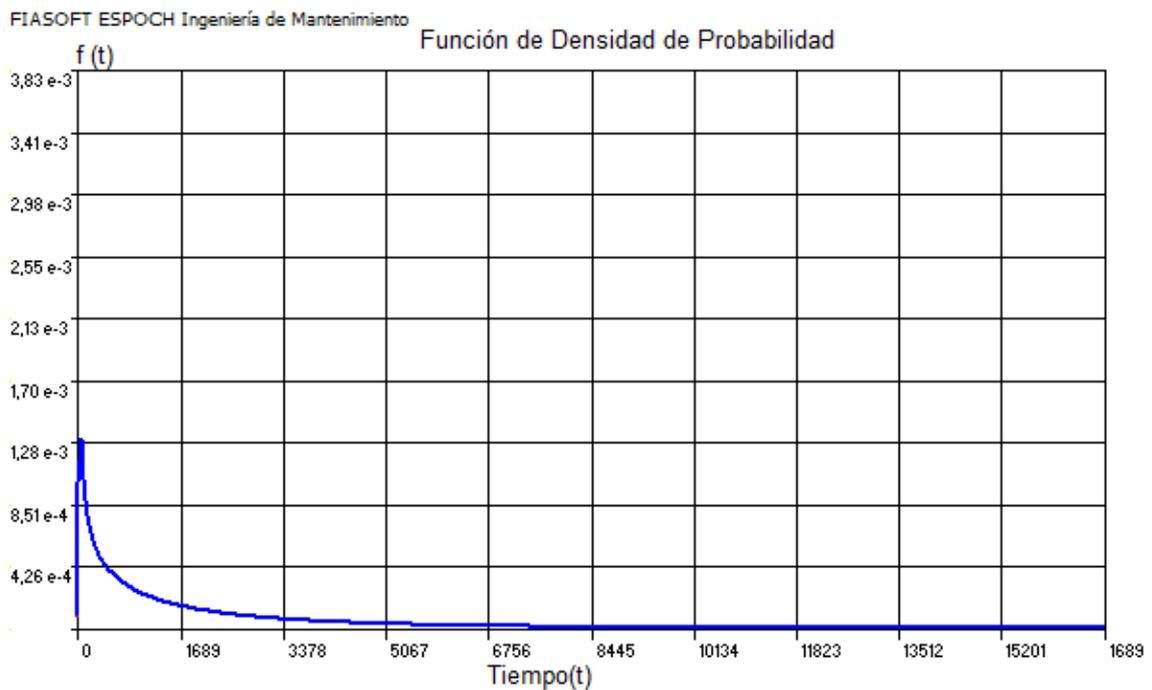


Figura 4.14: Función de Densidad de Probabilidad en el Sistema de Transmisión

La Figura 4.15 muestra la grafica de la tasa de fallas en relación al tiempo en el sistema de transmisión.

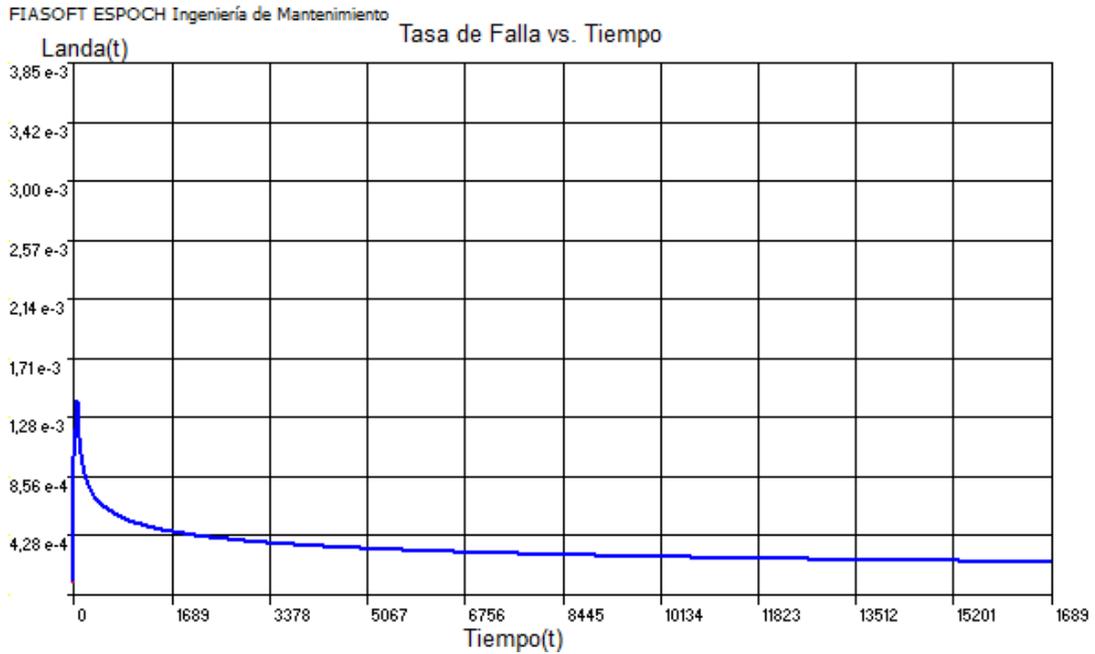


Figura 4.15: Tasa de Falla vs. Tiempo del Sistema de Transmisión

4.4.2.1 Funciones de los índices de fiabilidad

Los parámetros de forma y vida característica obtenidos, reemplazamos en las ecuaciones de Weibull. De esta manera se puede determinar los índices de fiabilidad para un tiempo determinado.

- **Fiabilidad**

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1530,34}\right)^{0,71}}$$

- **Infiabilidad**

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1530,34}\right)^{0,71}}$$

- Tasa de Fallos $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{0,71}{1530,34} * \left(\frac{t}{1530,34}\right)^{0,71-1}$$

- Densidad de Probabilidad de Fallo $f(t)$

$$f(t) = \frac{0,71}{1530,34} * \left(\frac{t}{1530,34}\right)^{0,71-1} * e^{-\left(\frac{t}{1530,34}\right)^{0,71}}$$

- Duración de vida (t) asociada a un nivel de fiabilidad $R(t)$

$$t = 1530,34 * \text{Ln}\left(\frac{1}{R(t)}\right)^{\frac{1}{0,71}}$$

Por medio del software Fiasoft se ha determinado los índices de fiabilidad para un tiempo de 1069 horas, el cual representa el tiempo probable de buen funcionamiento del sistema de potencia antes de que aparezca otra falla. Estos valores se muestran en las Figuras 4.16.

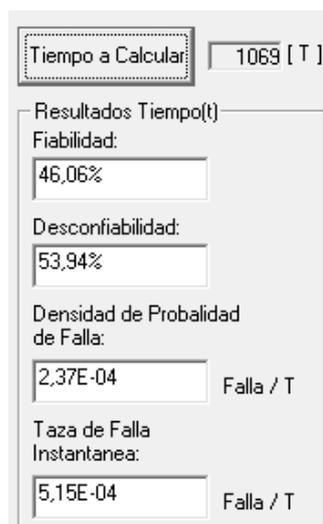


Figura 4.16: Índices de Fiabilidad Para un Tiempo de 1069 Horas en el Sistema de Transmisión

4.4.3. Sistema de Bombeo: Bomba

La Figura 4.17 muestra los datos de las fallas que se ingresan en forma creciente en el software Fiasoft; y la infiabilidad no paramétrica, tanto en porcentajes como en tanto por uno, para cada falla producida en el sistema de bombeo.

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	139,00	F	0,0673	6,73%
2	402,00	F	0,1635	16,35%
3	430,00	F	0,2596	25,96%
4	471,00	F	0,3558	35,58%
5	1.069,00	F	0,4519	45,19%
6	1.196,00	F	0,5481	54,81%
7	1.275,00	F	0,6442	64,42%
8	1.390,00	F	0,7404	74,04%
9	3.641,00	F	0,8365	83,65%
10	5.153,00	F	0,9327	93,27%

Figura 4.17: Cálculo de la Infiabilidad no Paramétrica en el Sistema de Bombeo

De manera similar, al igual que en el sistema de potencia, para la determinación de los índices de fiabilidad en el sistema de bombeo a través del software Fiasoft, se lo ha realizado a través del papel de Weibull, en donde linealiza todos los puntos ingresados y calculados, teniendo en cuenta que en el eje horizontal se encuentran las horas registradas para cada falla, y en el eje vertical el porcentaje de infiabilidad para cada falla producida. Estos valores se representan en la Figura 4.18.

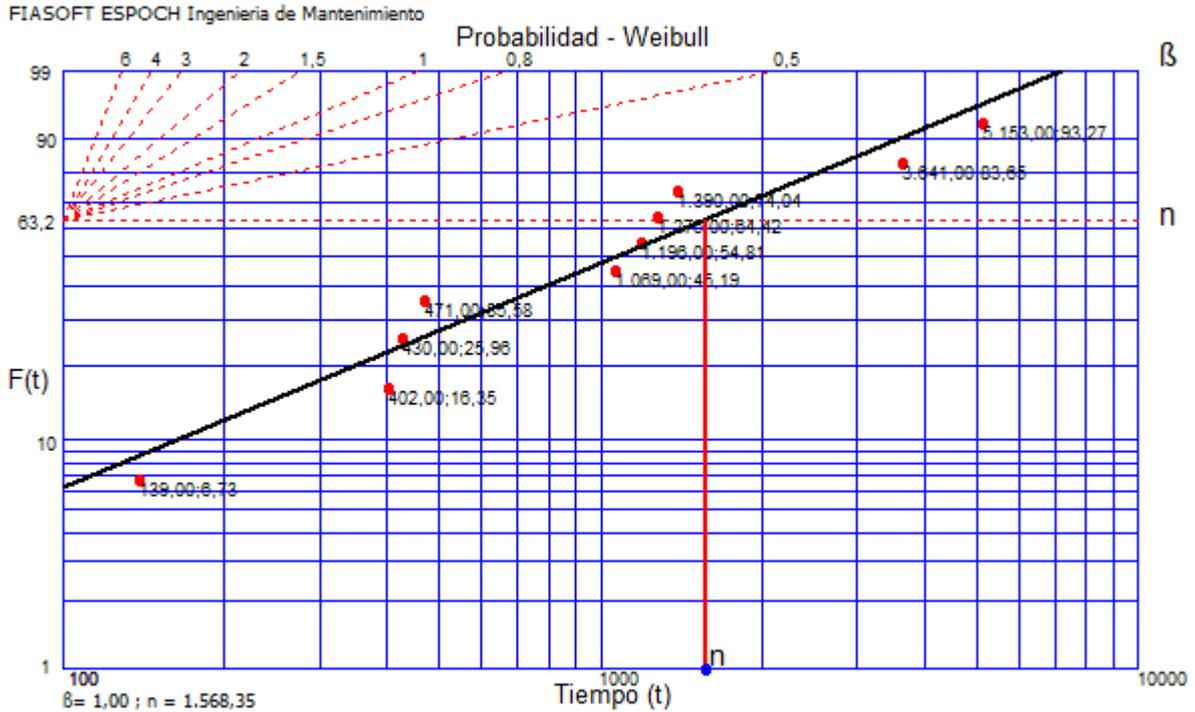


Figura 4.18: Probabilidad. Weibull en el Sistema de Bombeo

De esta manera se obtiene el valor del parámetro de vida característica, ubicado en el eje horizontal, con un valor de 1568,35 horas y el parámetro de forma, cuya grafica es paralela a la línea punteada ubicada en la parte superior izquierda con un valor de 1,00. Estos valores se indican en la Figura 4.19.

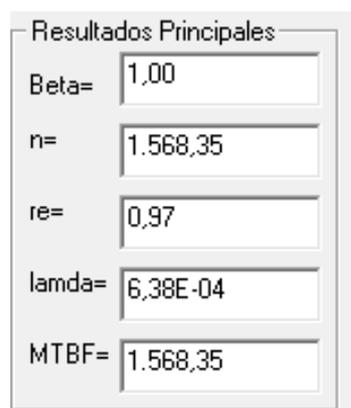


Figura 4.19: Parámetros de Fiabilidad en el Sistema de Bombeo

La Figura 4.20 representa la curva de la fiabilidad en el sistema de bombeo, en donde se observa que a medida que transcurre el tiempo el valor de la fiabilidad decrece.

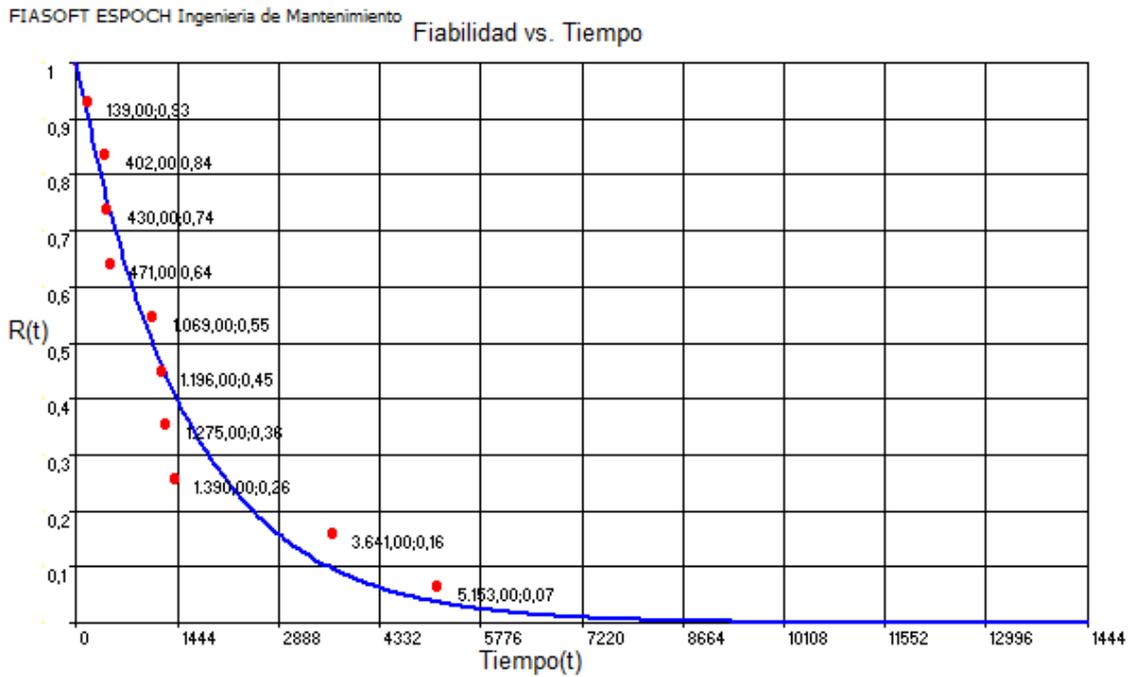


Figura: 4.20 Fiabilidad- Tiempo en el Sistema de Bombeo

La Figura 4.21 representa la curva de la infiabilidad en el sistema de bombeo, en donde se observa que a medida que transcurre el tiempo el valor de la infiabilidad aumenta

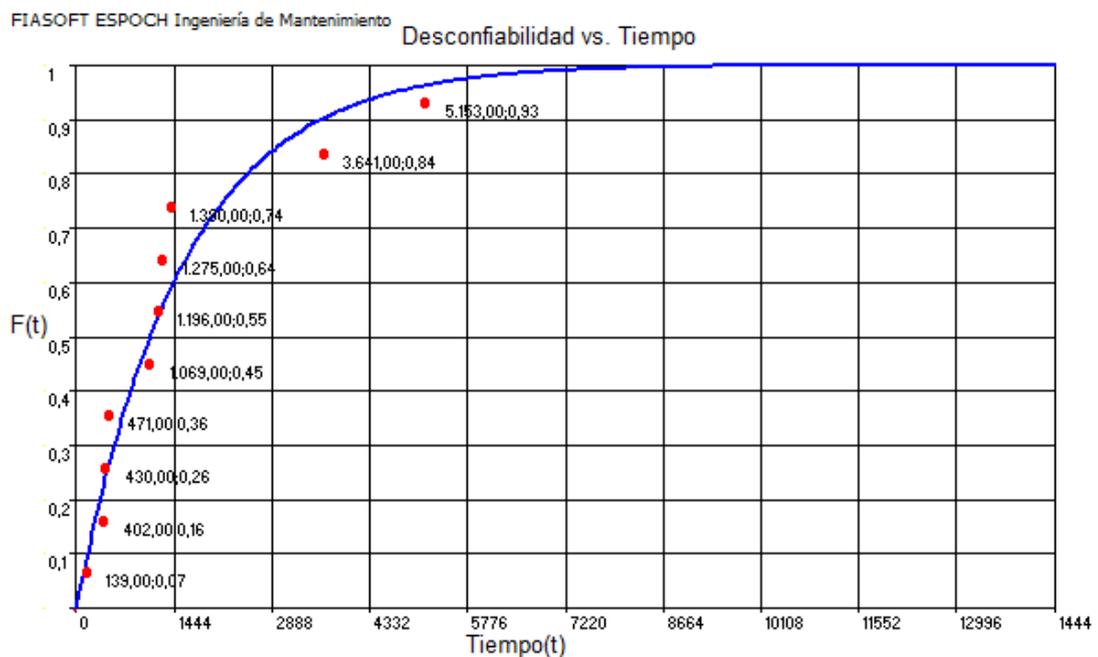


Figura 4.21: Infiabilidad vs. Tiempo en el Sistema de Bombeo

La Figura 4.22 representa la función de densidad de probabilidad.

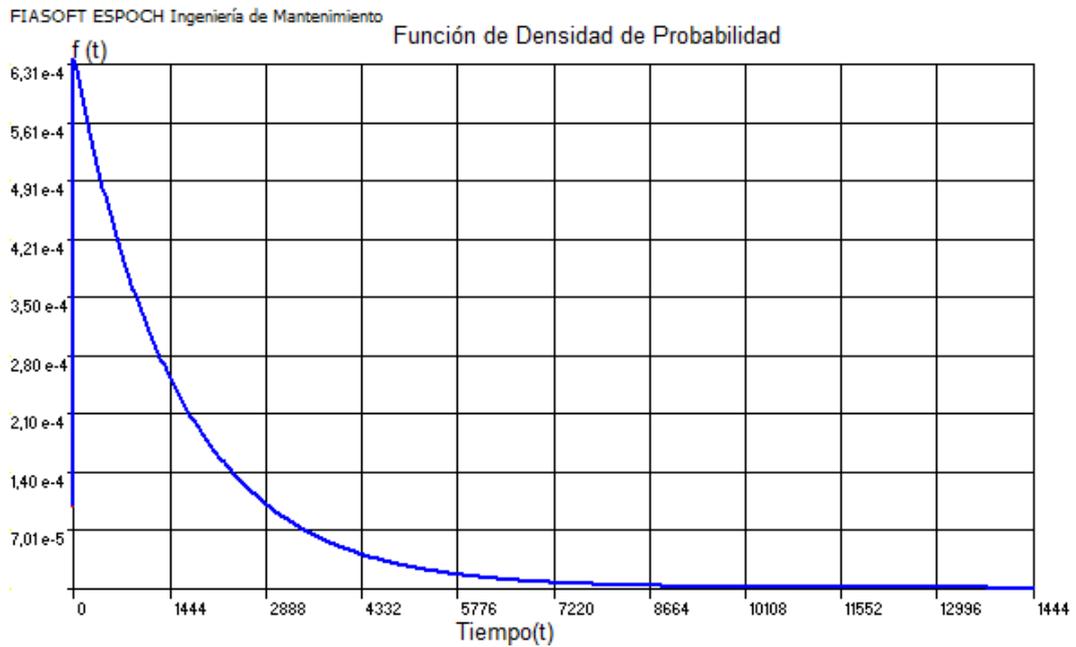


Figura 4.22: Función de Densidad de Probabilidad en el Sistema de Bombeo

La gráfica 4.23 se muestra la grafica de la tasa de fallas en relación al tiempo en el sistema de bombeo.

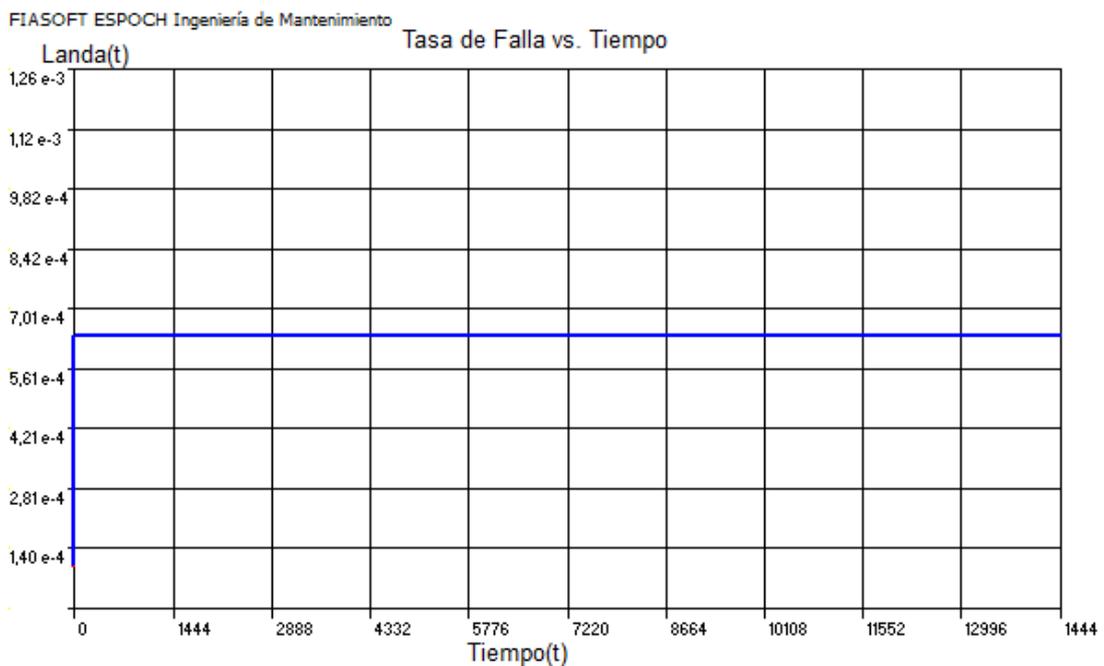


Figura 4.23: Tasa de Fallas vs. Tiempo en el Sistema de Bombeo

4.4.3.1 Funciones de los índices de fiabilidad

Los parámetros de forma y vida característica obtenidos, reemplazamos en las ecuaciones de Weibull. De esta manera se puede determinar los parámetros para un tiempo determinado.

- **Fiabilidad**

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1568,35}\right)^{1,00}}$$

- **Infiabilidad**

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1568,35}\right)^{1,00}}$$

- **Tasa de Fallos $\lambda(t)$**

$$\lambda(t) = \frac{1,00}{1568,35} * \left(\frac{t}{1568,35}\right)^{1,00-1}$$

- **Densidad de Probabilidad de Fallo $f(t)$**

$$f(t) = \frac{1,00}{1568,35} * \left(\frac{t}{1568,35}\right)^{1,00-1} * e^{-\left(\frac{t}{1568,35}\right)^{1,00}}$$

- **Duración de vida (t) asociada a un nivel de fiabilidad $R(t)$**

$$t = 1568,35 * Ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)^{\frac{1}{1,00}}$$

Por medio del software Fiasoft se ha determinado los índices de fiabilidad para un tiempo de 1069 horas, el cual representa el tiempo probable de buen funcionamiento del

sistema de potencia antes de que aparezca otra falla. Estos valores se muestran en las Figuras 4.24.

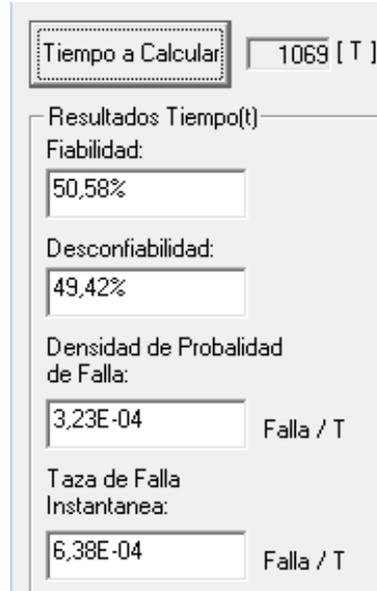


Figura 4.24: Índices de Fiabilidad Para un Tiempo de 1069 Horas en el Sistema de Bombeo

4.5. Cálculo de la fiabilidad e infiability del grupo de bombeo

Para conocer la fiabilidad e infiability en el grupo de bombeo P-303, se debe tomar en cuenta que es un sistema en serie, por lo que las ecuaciones que se emplearan son exclusivamente para ese sistema.

4.5.1. Fiabilidad total en el grupo de bombeo

Para la determinación de la fiabilidad total en el Grupo de Bombeo, se empleó la ecuación:

$$R_{s(t)} = R_{1(t)} * R_{2(t)} * R_{3(t)}$$

En donde:

R_s = Fiabilidad Total en el Grupo de Bombeo

R_1 = Fiabilidad del Sistema de Potencia

$R_2 =$ Fiabilidad del Sistema de Transmisión

$R_3 =$ Fiabilidad del Sistema de Bombeo

- Para $t=1069$ horas, tenemos:

$$R_s(1069) = (0,3680 * 0,4606 * 0,5058) \%$$

$$R_s(1069) = 8,57 \%$$

4.5.2. Infiabilidad total en el grupo de bombeo

Por medio de la siguiente ecuación se obtuvo la infiabilidad del grupo de bombeo para cada tiempo:

$$F_s(t) = 1 - R_s(t)$$

En donde:

$F_s(t)$ = Fiabilidad Total en el Grupo de Bombeo

$R_s(t)$ = Infiabilidad Total en el Grupo de Bombeo

- Para $t= 1069$ horas, tenemos:

$$F_s(1069) = (1 - 0,857) \%$$

$$F_s(1069) = 91,43 \%$$

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Resultados

Los parámetros e índices de fiabilidad obtenidos en el Sistema de Potencia, Sistema de Transmisión y Sistema de Bombeo que conforman el grupo de bombeo P-303 de la estación Faisanes del Poliducto Esmeraldas - Quito, se detalla en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: PARÁMETROS E ÍNDICES DE FIABILIDAD EN EL GRUPO DE BOMBEO P-303

PARÁMETROS E ÍNDICES	Sistema de Potencia	Sistema de Transmisión	Sistema de Bombeo
Parámetro de forma β	1,26	0,71	1,00
Parámetro de vida característica α	1069,26	1530,34	1568,35
Tasa de fallos	$\lambda(t) = \frac{1,26}{1069,26} * \left(\frac{t}{1069,26}\right)^{1,26-1}$	$\lambda(t) = \frac{0,71}{1530,34} * \left(\frac{t}{1530,34}\right)^{0,71-1}$	$\lambda(t) = \frac{1}{1568,35} * \left(\frac{t}{1568,35}\right)^{1-1}$
Densidad de probabilidad de fallos	$f(t) = \frac{1,26}{1069,26} * \left(\frac{t}{1069,26}\right)^{1,26-1} * e^{-\left(\frac{t}{1069,26}\right)^{1,26}}$	$f(t) = \frac{0,71}{1530,34} * \left(\frac{t}{1530,34}\right)^{0,71-1} * e^{-\left(\frac{t}{1530,34}\right)^{0,71}}$	$f(t) = \frac{1}{1568,35} * \left(\frac{t}{1568,35}\right)^{1-1} * e^{-\left(\frac{t}{1568,35}\right)^1}$
Infiabilidad	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1069,26}\right)^{1,26}}$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1530,34}\right)^{0,71}}$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1568,35}\right)^{1,00}}$
Fiabilidad	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1069,26}\right)^{1,26}}$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1530,34}\right)^{0,71}}$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1568,35}\right)^{1,00}}$
Tiempo Medio Entre Fallos	987,57	1937,11	1568,35

Los índices de fiabilidad del sistema de bombeo se predice para un tiempo $t=1069$ horas que corresponde al tiempo probable de buen funcionamiento del Sistema de Potencia, y consecuentemente del grupo de bombeo, obteniéndose los resultados en la Tabla 5.2, 5.3 y 5.4.

Tabla 5.2: ÍNDICES DE FIABILIDAD EN EL SISTEMA DE POTENCIA

ÍNDICES DE FIABILIDAD EN EL SISTEMA DE POTENCIA EN $t=1069$	
R(t)	36,80%
F(t)	63,20%
f(t)	$4,34 \times 10^{-4}$
$\lambda(t)$	$1,18 \times 10^{-3}$

Tabla 5.3: ÍNDICES DE FIABILIDAD EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

ÍNDICES DE FIABILIDAD EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN EN $t=1069$	
R(t)	46,06%
F(t)	53,94%
f(t)	$2,37 \times 10^{-4}$
$\lambda(t)$	$5,15 \times 10^{-4}$

Tabla 5.4: ÍNDICES DE FIABILIDAD EN EL SISTEMA DE BOMBEO

ÍNDICES DE FIABILIDAD EN EL SISTEMA DE BOMBEO EN $t=1069$	
R(t)	50,58%
F(t)	49,42%
f(t)	$3,23 \times 10^{-4}$
$\lambda(t)$	$6,38 \times 10^{-4}$

La fiabilidad e in fiabilidad total en el grupo de bombeo para el tiempo de $t=1069$ horas

se muestran en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5: FIABILIDAD E INFIABILIDAD EN EL GRUPO DE BOMBEO

FIABILIDAD E INFIABILIDAD TOTAL EN EL GRUPO DE BOMBEO	
Fiabilidad	8,57%
Infiabilidad	91,43%

5.2 Discusión

- En la Tabla 5.1 se muestra los Parámetros e Índices de Fiabilidad en el Sistema de Potencia, en donde se puede analizar lo siguiente:
 - El parámetro de forma β , tiene un valor de 1,26, lo cual indica que el sistema de potencia se encuentra en la tercera etapa de la curva de Davis, es decir, en el periodo de desgaste por envejecimiento.

Por medio del diagrama de pareto (ver Anexo 8), las fallas que más se han producido en el Sistema de Potencia se encuentran en el sistema de alimentación de combustible, ya que se ha producido fisuras en los plug-in (resortes) de la bomba de inyección, fugas en las cañerías que transportan el combustible como también en los inyectores. De igual manera se produce fallas en el sistema de lubricación, ya que se produce fugas de aceite por los empaques y en la válvula de tres vías y en las cañerías por encontrarse fisuradas.

Las causas que producen estas fallas, son debido al mal montaje de las cañerías, calibración incorrecta en la bomba de inyección y de sus inyectores.

Se recomienda realizar pruebas adecuadas de calibración de los inyectores de acuerdo a la presión a las que están diseñadas y de la bomba de inyección para prevenir estas fallas.

- El parámetro de vida característica α es de 1069,26 horas, e indica el tiempo probable de buen funcionamiento del sistema de potencia antes de que aparezca otra falla.
- El Tiempo Medio Entre Fallo es de 987,57 horas y representa el tiempo esperado de funcionamiento del sistema sin fallas.
- En la Tabla 5.2 se muestra los índices de fiabilidad del Sistema de Potencia para $t=1069$ horas, el cual representa el tiempo probable de buen funcionamiento de este sistema antes de que aparezca otra falla y se puede apreciar que:
 - La fiabilidad $R(t)$ tiene un valor de 36,80%, lo cual indica que se encuentra dentro de las actividades de mantenimiento.
 - La in fiabilidad $F(t)$ o probabilidad de funcionamiento con es de 63,20%.
 - La tasa de fallos es de $1,18 \times 10^{-3}$ fallos/hora, la cual aumenta con el tiempo, por encontrarse en la tercera etapa de la curva de Davis.
- En la Tabla 5.1 también se muestra los Parámetros e Índices de Fiabilidad en el Sistema de Transmisión, en donde se puede analizar lo siguiente:
 - El parámetro de forma β , tiene un valor de 0,71 lo cual indica que este sistema se encuentra en la primera etapa de la curva de Davis, es decir, en el periodo de fallas infantiles o iniciales.

Por medio del diagrama de pareto (ver Anexo 9), las fallas que se han producido en el sistema de transmisión son producidas por el desgaste del cojinete interior de alta velocidad, por lo que se ha realizado cambios de estos cojinetes, al igual que la manzana y la corona del acople flexident, así como también se ha efectuado el cambio del piñón de alta velocidad por encontrarse deteriorado.

Las causas de estas fallas son debido a que el incrementador se encuentra desalineado con la Bomba Guinard, ante esto, se recomienda realizar una alineación adecuada por medio de equipos modernos, ya que en la estación Faisanes solo se emplea relojes comparadores, dando medidas erróneas durante su montaje.

- El parámetro de vida característica α es de 1530,34 horas, e indica el tiempo probable de buen funcionamiento del sistema de transmisión antes de que aparezca otra falla.
- El Tiempo Medio Entre Fallo es de 1937,11 horas y representa el tiempo esperado de funcionamiento del sistema sin fallas.
- En la Tabla 5.3 se muestra los índices de fiabilidad del Sistema de Transmisión para $t=1069$ horas, el cual representa el tiempo probable de buen funcionamiento del sistema de potencia antes de que aparezca otra falla y se puede apreciar que:
 - La fiabilidad $R(t)$, en el tiempo t_1 , tiene un valor de 46,06%, lo cual indica que se encuentra mayor al intervalo de las actividades de mantenimiento.
 - La in fiabilidad $F(t)$ o probabilidad de funcionamiento con fallo es de 53,94%.
 - La tasa de fallos es de $5,15 \times 10^{-4}$ fallos/hora, la cual disminuye con el tiempo, por encontrarse en la primera etapa de la curva de Davis.
- De manera similar en la Tabla 5.1 se muestra los Índices de Fiabilidad en el Sistema de Bombeo, en donde se puede analizar lo siguiente:
 - El parámetro de forma β , tiene un valor de 1, lo cual indica que este sistema se encuentra en la segunda etapa, es decir, en el periodo de vida útil.

Las fallas que se producen en la Bomba Guinard son tanto fallas externas e internas.

Por medio del diagrama de Pareto (ver Anexo 10), las fallas que se han producido en el Sistema de Bombeo, son especialmente fallas externas, entre estas tenemos las fugas producidas en los neoplos, cañerías y filtros. Estas fallas son producidas por vibraciones debido a altas presiones internas en las cañerías, ya que este grupo de bombeo es el de alta presión. Se recomienda emplear cañerías y neoplos que soporten altas presiones.

Entre las fallas internas tenemos la desalineación del eje de la bomba con relación al incrementador, lo cual produce desgaste excesivo en los cojinetes interior y exterior, así como el cojinete de empuje y fracturas superficiales en el eje.

- El parámetro de vida característica α es de 1568,35 horas e indica el tiempo probable de buen funcionamiento del sistema de potencia antes de que aparezca otra falla.
- El Tiempo Medio Entre Fallo es de 1568,35 horas y representa el tiempo esperado de funcionamiento del sistema sin fallas.

En la Tabla 5.4 se muestra los índices de fiabilidad del Sistema de Bombeo para $t=1069$ horas, el cual representa el tiempo probable de buen funcionamiento del sistema de potencia antes de que aparezca otra falla y se puede apreciar que:

- La fiabilidad $R(t)$ tiene un valor de 50,58%. lo cual indica que se encuentra mayor al intervalo de las actividades de mantenimiento.
- La in fiabilidad $F(t)$ o probabilidad de funcionamiento con fallo es de 49,42%.
- La tasa de fallos es de $6,38 \times 10^{-4}$ fallos/hora y permanece constante a medida que varíe el tiempo, ya que el parámetro de forma está en la segunda etapa de la curva de Davis, es decir dentro de la vida útil.

- En la Tabla 5.5 se muestra la fiabilidad e in fiabilidad total en el grupo de Bombeo, en la cual se puede apreciar:

La fiabilidad del grupo de bombeo es de 8.57%, que representa una probabilidad muy bajo de buen funcionamiento, eso se debe a que el grupo funciona en serie y el que mas incide en el cálculo de la fiabilidad del grupo es la fiabilidad del sistema de potencia, por tener el valor más bajo de probabilidad de buen funcionamiento que el sistema de transmisión y de bombeo. Además el grupo de bombeo se encuentra próximo a su siguiente over hall.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El estudio realizado permitió determinar los modelos de predicción de los índices de fiabilidad para cada uno de los sistemas componentes del grupo de bombeo utilizando el registro de los tiempos de buen funcionamiento consignados en la bitácora de mantenimiento y con la aplicación del software Fiasoft.
- En el grupo de bombeo, el sistema de potencia es el que presenta menor fiabilidad debido a que se encuentra en su etapa de desgaste y tiene una menor probabilidad de funcionamiento, expresados por sus parámetros de forma y vida característica.
- El tiempo de predicción para determinar los índices de fiabilidad de cada uno de los sistemas, es la vida característica del sistema de potencia, que representa la probabilidad de buen funcionamiento antes de que ocurra una falla en el sistema y en el grupo de bombeo.
- La fiabilidad del grupo de bombeo, al ser un sistema en serie, es igual al producto de las fiabilidades de los sistemas de potencia, transmisión y bombeo.
- La determinación de los parámetros de forma (β) y vida característica (α), nos permite determinar en qué etapa de vida se encuentra cada uno de los sistemas y su probabilidad de buen funcionamiento antes de que ocurra la siguiente falla.
- A través de la curva de la bañera asociada al mantenimiento y en base al parámetro de forma se puede conocer las causas de las fallas y establecer las mejores estrategias de mantenimiento.

- El análisis de fiabilidad es un análisis cuantitativo, expresado a través de sus índices de predicción.
- El Sistema de Potencia, según el parámetro de forma $\beta= 1,26$ y en base a la Curva de Davis asociada al mantenimiento, se encuentra en la etapa de desgaste, debido a fallas vitales producidas en el sistema de alimentación de combustible, sistema de lubricación y sistema de refrigeración.
- El Sistema de Transmisión, según el parámetro de forma $\beta= 0,71$ y en base a la Curva de Davis asociada al mantenimiento, se encuentra en la etapa infantil, debido a fallas vitales producidas por exceso de temperatura en el cojinete interior de alta velocidad y desgastes en la manzana y corona.
- El Sistema de Bombeo, según el parámetro de forma $\beta= 1$ y en base a la Curva de Davis asociada al mantenimiento, se encuentra en la etapa de vida útil debido a fallas externas vitales producidas, producidas por fisuras y fugas en neoplos y cañerías, debido a ser el grupo de alta presión.

6.2. **Recomendaciones**

- Al ser el análisis de fiabilidad un análisis cuantitativo se recomienda utilizar técnicas cualitativas como: Diagrama causa raíz, análisis de criticidad, análisis de modo y efecto de fallo que permita realizar una mejor gestión de mantenimiento en este grupo de bombeo.
- Realizar un análisis de fiabilidad en los Grupos P-301 y P-302 en la Estación Faisanes que permitan comparar los valores de los índices de fiabilidad, así mismo conocer la fiabilidad en esta estación de bombeo.
- Efectuar un análisis de fiabilidad en el sistema de potencia por ser el más crítico, con el fin de determinar la fiabilidad de cada uno de los componentes que conforman el sistema.
- Establecer un estudio técnico-económico a través del Costo de Ciclo de Vida LCC con el objeto de determinar la factibilidad de un posible reemplazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MORA, Luis Alberto. Mantenimiento Planeación, Ejecución y Control. 2009: pág. 95-97.
- [2] <http://confiabilidad.net/print/modelo-mixto-de-confiabilidad>
- [3] MORA, Alberto. Mantenimiento Estratégico Empresarial. Primera Edición 2007: pág. 60-62.
- [4] MORA, Alberto. Mantenimiento Estratégico Empresarial. Primera Edición 2007: pág. 62-64.
- [5] <http://confiabilidad.net/print/modelo-mixto-de-confiabilidad/>
- [6] FLORES C. e HIDALGO L. Desarrollo de un software para determinar los índices de fiabilidad en maquinas y equipos industriales. FIASOFT. Riobamba Ecuador: 2008: pág. 45.
- [7] http://www.petrocomercial.com/wps/portal/ne_gst_peqp
- [8] Manual de Operaciones de la Estación Faisanes, pág. 2.34
- [9] Manual de Operaciones de la Estación Faisanes, pág. 2.45
- [10] Sistema De Control Automático De Grupos De Bombeo Tomo Estación Faisanes Petrocomercial
- [11] Motoren Werke Mannheim (MWM). Manual de operación del Motor de Combustión Interna TDB 440, pág. 1-10
- [12] Manual de la operación de la Bomba Centrífuga Guinard de 5 etapas, pág. 3-8

BIBLIOGRAFÍA

- MORA, Luis Alberto. Mantenimiento Planeación, Ejecución y Control. Bogotá. Alfaomega, 2009
- MORA, Luis Alberto. Mantenimiento Estratégico Empresarial. Primera Edición. Bogotá Alfaomega, 2007.
- TORRES, Leandro Daniel. Mantenimiento su Implementación y Gestión. Tercera Edición. Argentina. Universitas, 2010.
- VILLANUEVA, Enrique. La Productividad en el Proceso Industrial. Segunda Reimpresión. México, 2000.
- VILLANUEVA, Enrique. Un Enfoque Analítico del Mantenimiento Industrial. Primera Edición. México, 2009.
- GALLARA – PONTELLI. Mantenimiento Industrial. Primera Edición, 2009.
- GONZALEZ, Pablo- MARTINEZ, Bernardo y BARRACHINA, Jorge. Problemas de Ingeniería de Mantenimiento. Universidad de Valencia. Valencia, 2000.
- FLORES C. e HIDALGO L. Desarrollo de un software para determinar los índices de fiabilidad en maquinas y equipos industriales. FIASOFT. Riobamba Ecuador: 2008
- Manual de operaciones de la Estación Faisanes
- Manual de Sistema De Control Automático De Grupos De Bombeo Tomo Estación Faisanes
Petrocomercial

LINKOGRAFÍA

CONFIABILIDAD

<http://confiabilidad.net/print/modelo-mixto-de-confiabilidad/>

20 de agosto del 2011

MÁQUINA

[www.es.wikipedia.org/wiki/máquina](http://www.es.wikipedia.org/wiki/m%C3%A1quina)

24 de agosto del 2011

PETROCOMERCIAL

http://www.petrocomercial.com/wps/portal/ne_gst_peqp

10 de septiembre del 2011.

ANEXOS

ANEXO N° 1

TABLA PARA DETERMINAR EL VALOR DE B

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0.20	120	1901	1.65	0.8942	0.556	4.2	0.9089	0.244
0.25	24	199	1.70	0.8922	0.540	4.3	0.9102	0.239
0.30	9.2605	50.06	1.75	0.8906	0.525	4.4	0.9114	0.235
0.35	5.0291	19.98	1.80	0.8893	0.511	4.5	0.9126	0.230
0.40	3.3234	10.44	1.85	0.8882	0.498	4.6	0.9137	0.226
0.45	2.4786	6.46	1.90	0.8874	0.486	4.7	0.9149	0.222
0.50	2	4.47	1.95	0.8867	0.474	4.8	0.9160	0.218
0.55	1.7024	3.35	2.00	0.8862	0.463	4.9	0.9171	0.214
0.60	1.5046	2.65	2.10	0.8857	0.443	5.0	0.9182	0.210
0.65	1.3663	2.18	2.20	0.8855	0.425	5.1	0.9192	0.207
0.70	1.2638	1.85	2.3	0.8859	0.409	5.2	0.9202	0.203
0.75	1.1908	1.61	2.4	0.8865	0.393	5.3	0.9213	0.200
0.80	1.1330	1.43	2.5	0.8873	0.380	5.4	0.9222	0.197
0.85	1.0880	1.29	2.6	0.8882	0.367	5.5	0.9232	0.194
0.90	1.0522	1.17	2.7	0.8893	0.355	5.6	0.9241	0.191
0.95	1.0234	1.08	2.8	0.8905	0.344	5.7	0.9251	0.188
1.00	1	1	2.9	0.8917	0.334	5.8	0.9260	0.185
1.05	0.9803	0.934	3.0	0.8930	0.325	5.9	0.9269	0.183
1.10	0.9649	0.878	3.1	0.8943	0.316	6.0	0.9277	0.180
1.15	0.9517	0.830	3.2	0.8957	0.307	6.1	0.9286	0.177
1.20	0.9407	0.787	3.3	0.8970	0.299	6.2	0.9294	0.175
1.25	0.9314	0.750	3.4	0.8984	0.292	6.3	0.9302	0.172
1.30	0.9236	0.716	3.5	0.8997	0.285	6.4	0.9310	0.170
1.35	0.9170	0.687	3.6	0.9011	0.278	6.5	0.9318	0.168
1.40	0.9114	0.660	3.7	0.9025	0.272	6.6	0.9325	0.166
1.45	0.9067	0.635	3.8	0.9038	0.266	6.7	0.9333	0.163
1.50	0.9027	0.613	3.9	0.9051	0.260	6.8	0.9340	0.161
1.55	0.8994	0.593	4.0	0.9064	0.254	6.9	0.9347	0.160
1.60	0.8966	0.574	4.1	0.9077	0.249			

ANEXO N° 2

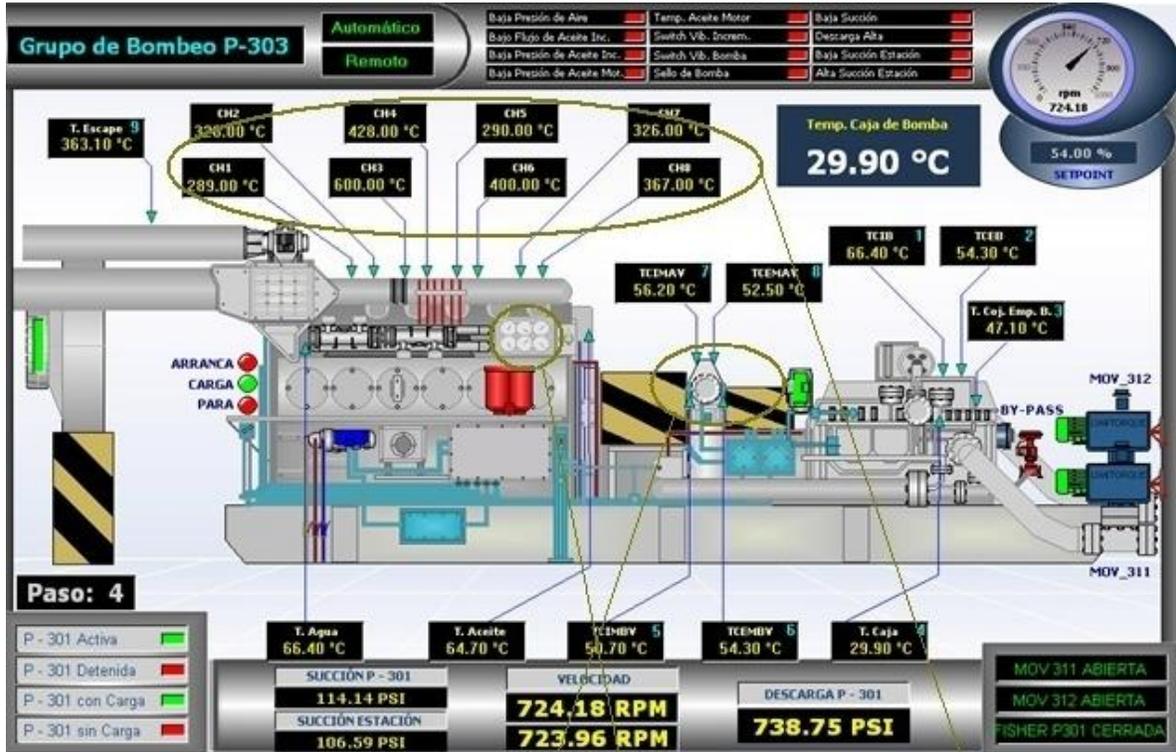
SETPOINTS DE PROCESO

DESCRIPCION	SETPOINT BAJO	SETPOINT ALTO	VALOR REAL
PRESION DE SUCCION DE ESTACION	50.00 PSI	250.00 PSI	106.64 PSI

DESCRIPCION	ESTACION
SP1 - PRESION AIRE	150.00 PSI
SP2 - PRESION AIRE	206.00 PSI
SP3 - PRESION AIRE	262.00 PSI
SP4 - PRESION AIRE	320.00 PSI
SP - ALTO NIVEL TANQUE DIESEL	9000.00 mm
SP - BAJO NIVEL TANQUE DIESEL	350.00 mm
SP - ALTO NIVEL TANQUE ALIVIO	9000.00 mm
SP - BAJO NIVEL TANQUE ALIVIO	350.00 mm

ANEXO N° 4

REGISTRO DE DATOS DE CAMPO



REGISTRO DE EQUIPOS PRINCIPALES

ESTACION DE BOMBEO : SANTO DOMINGO

POLIDUCTO : ESMERALDAS QUITO MACUL

FECHA : Viernes, 12 de Noviembre de 2010



HORA	PROYECTO	#FASEGA	GRUPO	TEMPER. PRODUCT	G R U P O N°																														
					B O M B A					M U L T I P L I C A D O R								M O T O R																	
					PRESION		TEMPERATURA			ACEITE				Y COJINETES				PRESION		TEMPERATURA															
					SUCCION	DESCARGA	COJINETE INTERIOR	COJINETE EXTERIOR	COJINETE INTERIOR	COJINETE EXTERIOR	CARGADA	TEMPERATURA INTERIOR	TEMPERATURA EXTERIOR																						
07:00	GS	418	301	74	94	785	71	57	49	30	34	40	46	55	61	61	53	820	60	55	25	1	10	11	75	70	388	336	374	0	463	354	413	375	398
08:00	GS	418	301	74	89	762	69	56	49	30	34	40	46	52	59	61	54	790	60	55	25	1	10	11	70	71	379	336	374	0	461	353	411	375	400
09:00	GS	418	301	74	89	765	69	56	49	30	34	40	46	54	61	61	54	780	60	55	25	1	10	11	73	70	382	336	374	0	461	353	411	375	400
10:00	GS	418	301	74	95	778	69	56	49	30	34	40	46	54	61	61	54	810	60	55	25	1	10	11	73	70	388	336	374	0	461	353	411	375	400
11:00	GS	418	301	74	92	781	69	56	49	30	34	40	46	54	61	61	54	810	60	55	25	1	10	11	73	70	388	336	374	0	461	353	411	375	400

ANEXO N° 6

GRUPO DE BOMBEO P-303



ANEXO N° 7

BITÁCORA DEL GRUPO P-303

REGISTRO DE FALLAS DEL GRUPO DE BOMBEO P-303				
Desde: septiembre del 2008			Hasta: septiembre del 2011	
N°	FECHA	FALLA	HORAS DE FUNCIO- NAMIENT O	Tipo de Falla
	28/09/2008	Finaliza y el Over Hall, y el grupo entra en funcionamiento	0	
1	10/10/2008	Se realiza cambio de bomba de transferencia de combustible, por encontrarse en mal estado	206	Falla en el Motor
2	12/12/2008	No arranca el grupo por existir exceso de temperatura en el cojinete interior de alta velocidad	1302	Falla en el Incrementador
3	19/12/2008	Fuera de servicio por fuga de aire en válvulas de arranque manual	1341	Falla en el Motor
4	09/03/2009	Rotura de banda de bomba de polea (sistema de enfriamiento en el block)	2658	Falla en el Motor
5	09/04/2009	Cambio de 2 plug-in (resortes), por encontrarse fugas	3154	Falla en el Motor
6	28/05/2009	Se realiza cambio de manzana y corona en el acople (incrementador-bomba) por encontrarse en mal estado	4296	Falla en el Incrementador
7	13/07/2009	Presenta fuga de combustible en la entrada a la bomba de inyección (cambio de anillo de cobre)	4538	Falla en el Motor
8	29/08/2009	Cambio de sello y cojinete interior de la bomba Guinard, por fugas de producto	5153	Falla en la Bomba
9	31/10/2009	Presenta problemas en el múltiple de escape de la culata #2	6049	Falla en el Motor
10	20/11/2009	Cambio de sello mecánico de cojinete interior de la bomba Guinard, por desgaste	6222	Falla en la Bomba
11	14/12/2009	Se repara fuga de aceite en la cañería del motor de prelubricación	6621	Falla en el Motor
12	30/12/2009	Cambio de bomba de agua de engranaje, por estar taponado	6823	Falla en el Motor
13	22/01/2010	Se corrigen fugas de aceite por cañerías de termostato a cárter	7127	Falla en el Motor

ANEXO N° 7

BITÁCORA DEL GRUPO P-303(CONTINUACIÓN)

REGISTRO DE FALLAS DEL GRUPO DE BOMBEO P-303				
Desde: septiembre del 2008			Hasta: septiembre del 2011	
N°	FECHA	FALLA	HORAS DE FUNCIO- NAMIENT O	Tipo de Falla
14	01/03/2010	Fuera de servicio por fuga en cañería de bomba	7612	Falla en la Bomba
15	18/03/2010	Se realiza cambio de manzana y corona en el acople (incrementador-bomba) por encontrarse en mal estado	7772	Falla en el Incrementador
16	28/03/2010	No arranca el grupo por existir exceso de temperatura en el cojinete interior de alta velocidad	7923	Falla en el Incrementador
17	07/04/2010	Se cambia neplo de cañería de refrigeración de cojinete exterior de bomba Guinard, por tener fuga de producto	8083	Falla en la Bomba
18	10/04/2010	Se cambia 2 empaques de asbesto del turbo hacia el escape por encontrarse deteriorado	8130	Falla en el Motor
19	19/05/2010	Se cambia la junta del retorno y el inyector la de culata #5 por encontrarse rota	8626	Falla en el Motor
20	01/07/2010	Se cambia piñón de alta velocidad del incrementador por tener desgaste excesivo en los dientes	9248	Falla en el Incrementador
21	14/07/2010	Se cambia neplo de cañería de refrigeración de cojinete exterior, por tener fuga de producto	9358	Falla en la Bomba
22	26/08/2010	Se realiza cambio de manzana y corona en el acople (incrementador-bomba) por encontrarse en mal estado	10010	Falla en el Incrementador
23	01/09/2010	No arranca el grupo por existir exceso de temperatura en el cojinete interior de alta velocidad	10068	Falla en el Incrementador
24	25/11/2010	Cambio del eje y los impulsores de la bomba por encontrarse con fisuras	10554	Falla en la Bomba

ANEXO N° 7

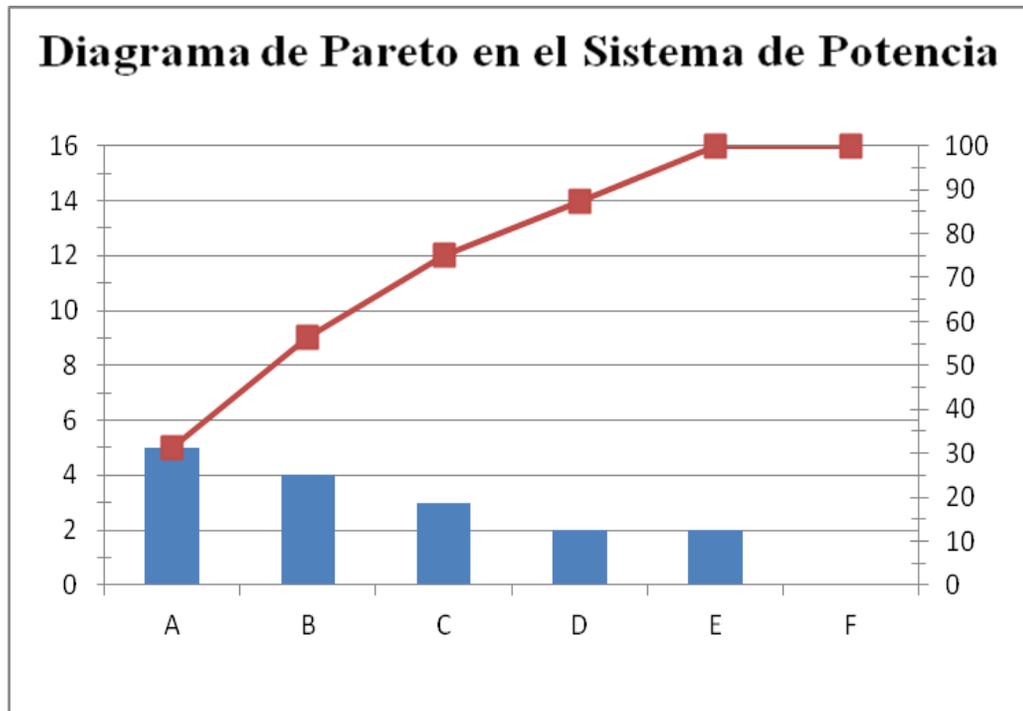
BITÁCORA DEL GRUPO P-303(CONTINUACIÓN)

REGISTRO DE FALLAS DEL GRUPO DE BOMBEO P-303				
Desde: septiembre del 2008			Hasta: septiembre del 2011	
N°	FECHA	FALLA	HORAS DE FUNCIO- NAMIENT O	Tipo de Falla
25	03/12/2010	Se repara fuga de aceite en la cañería del motor de prelubricación	10636	Falla en el Motor
26	26/12/2010	Se cambia la junta del retorno y el inyector #5 por encontrarse rota y el inyector	11018	Falla en el Motor
27	12/02/2011	No arranca el grupo por existir exceso de temperatura en el cojinete interior de alta velocidad	11687	Falla en el Incrementador
28	12/04/2011	Presenta problemas en el sistema de arranque (se traba el volante)	12698	Falla en el Motor
29	05/07/2011	Se corrige fuga de aceite por la cañería del cojinete interior de la bomba Guinard	14195	Falla en la Bomba
30	09/07/2011	Se realiza cambio de manzana y corona en el acople (incrementador-bomba) por encontrarse en mal estado	14217	Falla en el Incrementador
31	13/07/2011	No arranca el grupo por existir exceso de temperatura en el cojinete interior de alta velocidad	14304	Falla en el Incrementador
32	31/07/2011	Se cambia neplo de cañería de refrigeración de cojinete exterior de bomba Guinard, por tener fuga de producto	14625	Falla en la Bomba
33	10/08/2011	Se cambia neplo de cañería de refrigeración de cojinete exterior de bomba Guinard, por tener fuga de producto	14764	Falla en la Bomba
34	05/09/2011	Se cambia neplo de cañería de refrigeración de cojinete exterior de bomba Guinard, por tener fuga de producto	15166	Falla en la Bomba
35	12/09/2011	Sale el grupo por fuga de aceite en el termostato	15267	Falla en el Motor
36	19/09/2011	Fuera de servicio por presencia de agua en el block,se realiza cambio de culatas	15441	Falla en el Motor

ANEXO N° 8

TABLA Y DIAGRAMA DE PARETO EN EL SISTEMA DE POTENCIA

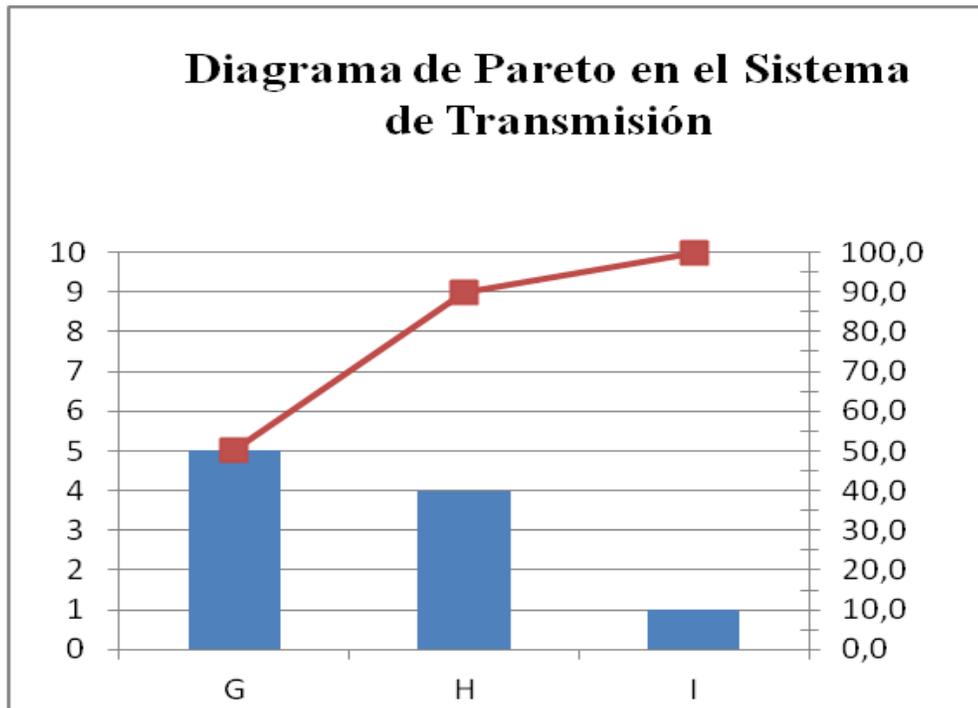
Fallas en el Sistema de Potencia		Número de Fallas	Número de Fallas Acumuladas	% del total	% acumulado del total
A	Sistema de Alimentación de Combustible	5	5	31,3	31,3
B	Sistema de Lubricación	4	9	25,0	56,3
C	Sistema de Refrigeración	3	12	18,8	75,0
D	Sistema de Arranque	2	14	12,5	87,5
E	Sistema de Admisión y Escape	2	16	12,5	100,0
TOTAL		16		100,0	



ANEXO N° 9

TABLA Y DIAGRAMA DE PARETO EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Fallas en el Sistema de Transmisión		Número de Fallas	Número de Fallas Acumuladas	% del total	% acumulado del total
G	Exceso de Temperatura en el cojinete interior de alta velocidad	5	5	50,0	50,0
H	Desgaste de Manzana y Corona	4	9	40,0	90,0
I	Desgaste del Piñón de Alta Velocidad	1	10	10,0	100,0
TOTAL		10		100,0	



ANEXO N° 10

TABLA Y DIAGRAMA DE PARETO EN EL SISTEMA DE BOMBEO

Fallas en el Sistema de Bombeo		Número de Fallas	Número de Fallas Acumuladas	% del total	% acumulado del total
J	Fisuras de Neplós y Cañerías	7	7	70,0	70,0
K	Desgaste de Sellos y Cojinete Interior	2	9	20,0	90,0
L	Desgaste en el Eje e Impulsores	1	10	10,0	100,0
TOTAL		10		100,0	

