



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EMPLEANDO LA INGENIERÍA DE LA FIABILIDAD EN BASE AL ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN TASA DE FALLOS $\lambda(t)$ APLICADO AL SISTEMA DE BOMBEO DE REINYECCIÓN DE AGUA DEL CAMPO AUCA BLOQUE 61 DE LA EMPRESA PETROAMAZONAS EP”

César Daniel Arregui Toro

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

GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado “PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EMPLEANDO LA INGENIERÍA DE LA FIABILIDAD EN BASE AL ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN TASA DE FALLOS $\lambda(t)$ APLICADO AL SISTEMA DE BOMBEO DE REINYECCIÓN DE AGUA DEL CAMPO AUCA BLOQUE 61 DE LA EMPRESA PETROAMAZONAS EP”, de responsabilidad del señor César Daniel Arregui Toro ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Ing. Oswaldo Martínez Guashima M.Sc.

PRESIDENTE

FIRMA

Ing. Carlos Santillán Mariño M.Sc.

DIRECTOR

FIRMA

Ing. Jorge Freire Miranda M.Sc.

MIEMBRO

FIRMA

Ing. César Astudillo Machuca. M.Sc.

MIEMBRO

FIRMA

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, César Daniel Arregui Toro declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ing. César Daniel Arregui Toro

CI. 1802840494

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, César Daniel Arregui Toro, declaro que el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de investigación y Desarrollo, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, julio de 2016

Ing. César Daniel Arregui Toro
CI. 1802840494

AGRADECIMIENTO

A la IPEC por abrirme las puertas para poder mejorar mis conocimientos y formarme como profesional de gran nivel académico.

Agradezco también a los excelentes docentes que laboran en la ESPOCH como lo son el Ing. Carlos Santillán, Ing. Jorge Miranda e Ing. César Astudillo que me han guiado y apoyado para conseguir el objetivo a ellos que se esfuerzan día a día con su preparación y entrega a la formación de valiosos profesionales.

Dedico este pequeño aporte a todas las personas que consagren su estudio y sigan dando continuidad sobre los fundamentos del análisis de fallas en los equipos de un sistema lo cual considero que su lectura será de utilidad.

A mi Dios que me obsequio una maravillosa familia, grandes amigos y excelentes maestros, a la ESPOCH que ha sido la institución que me ha formado con valores éticos y profesionales para poder servir a la industria ecuatoriana.

César Daniel

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DERECHOS INTELECTUALES.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
TABLA DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xx
TERMINOS ABREVIADOS.....	xxi
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de investigación.....	2
<i>1.1.1. Planteamiento del problema.....</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2. Formulación del problema.....</i>	<i>4</i>
<i>1.1.3. Sistematización del problema.....</i>	<i>4</i>
<i>1.1.4. Justificación de la investigación.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.5. Objetivos de la investigación.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.5.1. Objetivo general.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.5.2. Objetivos específicos.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.6. Justificación de la investigación.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.6.1. Justificación práctica.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.7. 1.1.1. Hipótesis.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.7.1. Hipótesis de Investigación.....</i>	<i>7</i>

CAPÍTULO II

2.	MARCO DE REFERENCIA.....	8
2.1.	Estado del arte	8
2.2.	Marco teórico.....	9
2.2.1.	Conceptos y terminología.....	9
2.2.2.	Mantenimiento.....	10
2.2.2.1.	Definiciones de mantenimiento.....	10
2.2.3.	Objeto de mantenimiento.....	10
2.2.4.	Objetivo del Mantenimiento Industrial.....	11
2.2.5.	Tipos de mantenimiento.....	11
2.3.	Conceptos básicos de fiabilidad.....	12
2.3.1.	Fiabilidad.....	12
2.3.2.	Componentes, equipos y sistemas.....	13
2.3.2.1.	Componente.....	14
2.3.2.2.	Equipo.....	14
2.3.2.3.	Sistema.....	14
2.3.3.	Características del proceso de fallos	14
2.3.3.1.	Función.....	14
2.3.3.2.	Fallo.....	15
2.3.3.3.	Avería.....	15
2.3.3.4.	Mecanismo de fallo.....	15
2.3.3.5.	Tasa de fallo.....	15
2.3.3.6.	Modo de fallo.....	16
2.3.4.	Fallos funcionales y fallos técnicos.....	16
2.3.4.1.	Fallo funcional.....	17
2.3.4.2.	Fallo técnico.....	17
2.3.5.	Los fallos son inevitables.....	17
2.3.6.	No puede predecirse el instante de un fallo.....	17
2.4.	Perfil de funcionalidad.....	18
2.5.	Origen de los fallos y la tasa de fallos	18
2.5.1.	Curva de Davies (de bañera) asociada al mantenimiento.....	18
2.5.1.1.	Fase I: Período de infancia.....	19
2.5.1.2.	Fase II: Período de vida útil.....	20
2.5.1.3.	Período de desgaste.....	21
2.6.	Modelos de distribución de fallas	22
2.6.1.	Distribución Exponencial.....	23
2.6.2.	Distribución de Weibull.....	24

2.6.2.1.	<i>Curvas características de la Distribución de Weibull.....</i>	25
2.6.3.	Método gráfico de papel de Weibull o Allen – Plait.....	27
2.6.3.1.	<i>Resolución gráfica del papel de Weibull.....</i>	28
2.6.4.	Software para análisis de fiabilidad	28
2.6.4.1.	<i>Software a utilizarse: [Fiasoft] Versión 1.0.0.....</i>	29
2.6.5.	Fiabilidad de Sistemas.....	30
2.6.5.1.	Sistemas en serie.....	30
2.6.5.2.	Sistemas en paralelo.....	31

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA.....	33
3.1.	Diseño de investigación (Métodos y materiales).....	33
3.1.1.	Modalidades de investigación.....	33
3.1.2.	Modalidades básicas de investigación.....	33
3.1.2.1.	<i>Bibliográfica documental.....</i>	34
3.1.2.2.	<i>De campo.....</i>	34
3.1.3.	Tipo o niveles de investigación.....	34
3.1.3.1.	<i>Investigación descriptiva.....</i>	34
3.1.3.2.	<i>Investigación explicativa.....</i>	35
3.1.3.3.	<i>Investigación asociación de variables.....</i>	35
3.1.4.	Proceso de recolección de datos.....	35
3.1.4.1.	<i>Información histórica.....</i>	35
3.1.4.2.	<i>Paquete de software Maximo Oil&Gas.....</i>	36
3.2.	Descripción general del sistema de bombeo de reinyección de agua.....	36
3.2.1.	Descripción del contexto operacional de los equipos del sistema.....	37
3.2.1.1.	<i>Tanque reposo.....</i>	37
3.2.1.2.	<i>Unidades de bombeo para el tratamiento químico.....</i>	38
3.2.1.3.	<i>Unidades centrífugas de transferencia.....</i>	40
3.2.1.4.	<i>Tanque de almacenamiento de agua de formación o tanque de desnatado.....</i>	42
3.2.1.5.	<i>Unidades centrifugas boosters.....</i>	42
3.2.1.6.	<i>Filtros tipo strainer para el filtrado de agua.....</i>	44
3.2.1.7.	<i>Transformadores.....</i>	44
3.2.1.8.	<i>Variadores (Electrospeed GCS).....</i>	45

3.2.1.9.	<i>Unidades de reinyección de agua HPS (Sistema de bombeo horizontal)....</i>	45
3.2.1.10.	<i>Bomba del Sumidero.....</i>	46
3.2.1.11.	<i>Pozo reinyector de agua RW-55.....</i>	47
3.3.	Unidades de bombeo de reinyección de agua.....	47
3.3.1.	Identificación de los sistemas, subsistemas y componentes.....	47
3.3.1.1.	<i>Motor eléctrico.....</i>	48
3.3.1.2.	<i>Cámara de empuje.....</i>	49
3.3.1.3.	<i>Bomba multietapas.....</i>	53
3.4.	Metodología utilizada para la estimación de los índices de fiabilidad....	59
3.4.1.	Recolección de datos e historial de fallas	59
3.4.1.1.	<i>Consolidación de las fallas en las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS N° 1 y N° 2.....</i>	60
3.5.	Determinación de los tiempos entre fallos en orden creciente.....	75
3.5.1.	Tiempos de buen funcionamiento del motor eléctrico de la unidad HPS N° 1.....	75
3.5.1.1.	<i>Perfil de funcionalidad.....</i>	76
3.5.1.2.	<i>Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Weibull.....</i>	76
3.5.2.	Tiempos de buen funcionamiento de la cámara de empuje de la unidad HPS N° 1.....	78
3.5.2.1.	<i>Perfil de funcionalidad.....</i>	79
3.5.2.2.	<i>Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Weibull.....</i>	79
3.5.3.	Tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas de la unidad HPS N° 1.....	81
3.5.3.1.	<i>Perfil de funcionalidad.....</i>	82
3.5.3.2.	<i>Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Weibull.....</i>	84
3.5.4.	Tiempos de buen funcionamiento del sistema de instrumentación y control de la unidad HPS N° 1.....	84
3.5.4.1.	<i>Perfil de funcionalidad.....</i>	85
3.5.4.2.	<i>Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Exponencial.....</i>	85
3.5.5.	Tiempos de buen funcionamiento del motor eléctrico de la unidad HPS N° 2.....	86
3.5.5.1.	<i>Perfil de funcionalidad.....</i>	86

3.5.6.	<i>Tiempos de buen funcionamiento de la cámara de empuje de la unidad HPS N° 2.....</i>	88
3.5.6.1.	<i>Perfil de funcionalidad.....</i>	88
3.5.6.2.	<i>Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Weibull.....</i>	89
3.5.7.	<i>Tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas de la unidad HPS N°2.....</i>	91
3.5.7.1.	<i>Perfil de funcionalidad.....</i>	91
3.5.7.2.	<i>Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Weibull.....</i>	91
3.5.8.	<i>Tiempos de buen funcionamiento del sistema de instrumentación y control de la unidad HPS N° 2.....</i>	94
3.5.8.1.	<i>Perfil de funcionalidad.....</i>	94
3.5.8.2.	<i>Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Exponencial.....</i>	95
3.6.	Determinar los parámetros e índices de fiabilidad aplicando el software Fiasoft.....	96
3.6.1.	<i>Motor eléctrico N°1.....</i>	96
3.6.2.	<i>Cámara de empuje N°1.....</i>	100
3.6.3.	<i>Bomba multietapas N° 1.....</i>	104
3.6.4.	<i>Motor eléctrico N°2.....</i>	108
3.6.5.	<i>Cámara de empuje N°2.....</i>	112
3.6.6.	<i>Bomba multietapas N°2.....</i>	116
3.7.	Determinación de la fiabilidad de los componentes de las bombas del sistema de reinyección de agua del Campo Auca.....	123
3.7.1.	<i>Componentes de la unidad de reinyección de agua N. 1.....</i>	123
3.7.2.	<i>Componentes de la unidad de reinyección de agua N. 2.....</i>	123

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	124
4.1.	Propuesta del plan de mantenimiento.....	124
4.2.	Planificación.....	124
4.2.1.	<i>Planificación a largo plazo.....</i>	125
4.2.2.	<i>Planificación a corto plazo.....</i>	125
4.2.3.	<i>Planificación inmediata.....</i>	125

4.3.	Plan de mantenimiento.....	125
4.4.	Etapas del plan de mantenimiento.....	126
4.4.1.	<i>Diagrama de flujo del sistema de reinyección de agua.....</i>	<i>127</i>
4.4.2.	<i>Organización del personal de mantenimiento del Bloque 61 campo Auca.....</i>	<i>128</i>
4.4.2.1.	<i>Funciones y Responsabilidades.....</i>	<i>129</i>
4.4.3.	<i>Codificación de equipos de bombeo del sistema de reinyección de agua.....</i>	<i>133</i>
4.4.4.	<i>Ficha de estado técnico de los equipos de bombeo de reinyección.....</i>	<i>134</i>
4.4.5.	<i>Determinación del plan de mantenimiento para los equipos de bombeo del sistema de reinyección campo Auca Bloque 61.....</i>	<i>144</i>
4.5.	Comprobación de hipótesis.....	160
4.5.1.	<i>Planteamiento de la hipótesis.....</i>	<i>158</i>
4.5.2.	<i>Comparación de valores.....</i>	<i>158</i>
4.5.3.	<i>Comprobación de la hipótesis usando el método de coeficiente de correlación de Pearson.....</i>	<i>160</i>
4.5.4.	<i>Obtención del diagrama de dispersión.....</i>	<i>161</i>
4.5.5.	<i>Cálculo del valor de covarianza.....</i>	<i>161</i>
4.5.6.	<i>Interpretación de la covarianza.....</i>	<i>162</i>
4.5.7.	<i>Determinación de la conclusión.....</i>	<i>162</i>
	CONCLUSIONES.....	163
	RECOMENDACIONES.....	164
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2	Parámetro de forma beta de Weibull.....	24
Tabla 1-3	Ficha técnica de las bombas de inyección de químicos.....	40
Tabla 2-3	Ficha técnica de las unidades centrifugas de transferencia.....	43
Tabla 3-3	Ficha técnica unidades centrífugas boosters.....	44
Tabla 4-3	Ficha técnica del motor eléctrico N ^a 1.....	49
Tabla 5-3	Ficha técnica del motor eléctrico N ^a 2.....	49
Tabla 6-3	Ficha técnica de la cámara de empuje N ^a 1.....	50
Tabla 7-3	Ficha técnica de la cámara de empuje N ^a 2.....	50
Tabla 8-3	Ficha técnica del motor del sistema de lubricación de la cámara de empuje 1.....	53
Tabla 9-3	Ficha técnica del motor del sistema de lubricación de la cámara de empuje 2.....	53
Tabla 10-3	Ficha técnica bomba multietapas 1.....	54
Tabla 11-3	Condiciones operativas de la bomba multietapas N ^o 1.....	54
Tabla 12-3	Ficha técnica bomba multietapas 2.....	55
Tabla 13-3	Condiciones operativas de la bomba multietapas N ^o 2.....	55
Tabla 14-3	Registro de fallas en el motor eléctrico N ^o 1.....	61
Tabla 15-3	Registro de fallas en la cámara de empuje N ^o 1.....	63
Tabla 16-3	Registro de fallas en la bomba multietapas N ^o 1.....	65
Tabla 17-3	Registro de fallas de instrumentación y control unidad.....	67
Tabla 18-3	Registro de fallas en el motor eléctrico N ^o 2.....	68
Tabla 19-3	Registro de fallas en la cámara de empuje N ^o 2.....	70
Tabla 20-3	Registro de fallas en la bomba multietapas unidad N ^o 2.....	72
Tabla 21-3	Registro de fallas de instrumentación y control unidad N ^o 2.....	74
Tabla 22-3	Tiempos de buen funcionamiento del motor eléctrico N ^o 1.....	75
Tabla 23-3	Método de aproximación rango de medianas motor eléctrico N ^o 1.....	77
Tabla 24-3	Tiempos de buen funcionamiento de la cámara de empuje N ^o 1..	79
Tabla 25-3	Método de aproximación rango de medianas cámara de empuje N ^o 1.....	80
Tabla 26-3	Tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas.....	81
Tabla 27-3	Método de aproximación rango de medianas de la bomba multietapas.....	82

Tabla 28-3	Tiempos de buen funcionamiento del sistema de instrumentación y control N°1.....	84
Tabla 29-3	Tiempos de buen funcionamiento.....	85
Tabla 30-3	Tiempos de buen funcionamiento del motor eléctrico N° 2.....	86
Tabla 31-3	Método de aproximación rango de medianas motor eléctrico N° 2.....	87
Tabla 32-3	Tiempos de buen funcionamiento de la cámara de empuje N° 2...	89
Tabla 33-3	Método de aproximación rango de medianas cámara de empuje N°2.....	90
Tabla 34-3	Tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas N° 2...	91
Tabla 35-3	Método de aproximación rango de medianas de la bomba multietapas N°2.....	92
Tabla 36-3	Tiempos de buen funcionamiento del sistema de instrumentación y control N°2.....	94
Tabla 37-3	Tiempos de buen funcionamiento.....	95
Tabla 38-3	Parámetros e índices de fiabilidad de las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS 1 y 2. PAPEL DE WEIBULL.....	121
Tabla 39-3	Parámetros e índices de fiabilidad de las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS 1 y 2. FIASOFT.....	122
Tabla 1-4	Codificación de equipos de bombeo del sistema de reinyección de agua.....	132
Tabla 2-4	Ficha del estado técnico del motor eléctrico N° 1.....	133
Tabla 3-4	Ficha del estado técnico del motor eléctrico N° 2.....	134
Tabla 4-4	Ficha del estado técnico de la cámara de empuje N° 1.....	135
Tabla 5-4	Ficha del estado técnico de la cámara de empuje N° 2.....	136
Tabla 6-4	Ficha del estado técnico de la bomba multietapas N° 1.....	137
Tabla 7-4	Ficha del estado técnico de la bomba multietapas N° 2.....	138
Tabla 8-4	Ficha del estado técnico del sistema de instrumentación y control unidad N°1.....	139
Tabla 9-4	Ficha del estado técnico del sistema de instrumentación y control unidad N° 2.....	140
Tabla 10-4	Motor eléctrico 1.....	141
Tabla 11-4	Cámara de empuje N. 1.....	143
Tabla 12-4	Bomba multietapas N. 1.....	145
Tabla 13-4	Instrumentación y Control N° 1.....	147
Tabla 14-4	Motor eléctrico 2.....	149

Tabla 15-4	Cámara de empuje N. 2.....	151
Tabla 16-4	Bomba multietapas N° 2.....	153
Tabla 17-4	Instrumentación y Control N° 2.....	155
Tabla 18-4	Parámetros e índices de fiabilidad de las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS durante el periodo 2010-2014.....	158
Tabla 19-4	Parámetros e índices de fiabilidad de las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS	159
Tabla 20-4	Valores de χ^2 TMEF y la de y_i fiabilidad.....	160
Tabla 21-4	Datos de x_{media} y y_{media}	160
Tabla 22-4	Valores de χ^2 TMEF y la de y_i fiabilidad.....	161

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1-1	Campo Petrolero Auca Bloque 61..... 1
Figura 2-1	Fallas del sistema de bombeo de reinyección de agua..... 3
Figura 1-2	Tipos de mantenimiento..... 11
Figura 2-2	Diagrama de estado de un equipo..... 18
Figura 3-2	Curva de Davies o Bañera asociada a conceptos de Falla o Mantenimiento..... 22
Figura 4-2	Tasa fallos de la distribución de Weibull..... 25
Figura 5-2	Fiabilidad de la distribución de Weibull..... 26
Figura 6-2	Densidad de la probabilidad de fallo de la distribución de Weibull. 27
Figura 7-2	Software FIASOFT..... 29
Figura 8-2	Software FIASOFT..... 29
Figura 9-2	Fiabilidad del sistema en función de la fiabilidad de los componentes..... 30
Figura 10-2	Topología de un sistema en serie..... 30
Figura 11-2	Efecto del número de componentes en serie sobre la fiabilidad del sistema..... 31
Figura 12-2	Topología de un sistema en paralelo..... 31
Figura 1-3	Tanque de reposo..... 37
Figura 2-3	Tanque de almacenamiento de químico..... 38
Figura 3-3	Bomba para inyección de químicos..... 39
Figura 4-3	Unidades centrífugas de transferencia..... 41
Figura 5-3	Tanque de almacenamiento de agua de formación..... 42
Figura 6-3	Unidades centrífugas boosters..... 43
Figura 7-3	Filtros tipo strainer para el filtrado de agua..... 44
Figura 8-3	Transformadores..... 45
Figura 9-3	Unidades de reinyección de agua HPS..... 46
Figura 10-3	Bomba del sumidero..... 46
Figura 11-3	Pozo reinyector de agua RW-55..... 47
Figura 12-3	Unidades de bombeo de reinyección de agua..... 47
Figura 13-3	Unidades de bombeo de reinyección de agua..... 48
Figura 14-3	Motor eléctrico..... 48
Figura 15-3	Cámara de empuje..... 50
Figura 16-3	Unidades de bombeo de reinyección de agua..... 51

Figura 17-3	Sello mecánico.....	51
Figura 18-3	Unidades de bombeo de reinyección de agua.....	52
Figura 19-3	Bomba multietapas.....	53
Figura 20-3	Curva de operación de la bomba multietapa N°1.....	54
Figura 21-3	Curva de operación de la bomba multietapas N°2.....	55
Figura 22-3	Unidades de bombeo de reinyección de agua.....	56
Figura 23-3	Admisión.....	56
Figura 24-3	Carcaza.....	57
Figura 25-3	Descarga.....	57
Figura 26-3	Equipos de instrumentación y control.....	57
Figura 27-3	Switch de vibración.....	58
Figura 28-3	Admisión y descarga switch.....	58
Figura 29-3	Equipos de instrumentación y control.....	59
Figura 30-3	Sistema de gestión Máximo Oil&Gas.....	59
Figura 31-3	Diagrama de estado del motor eléctrico N° 1.....	76
Figura 32-3	Diagrama de estado cámara de empuje N° 1.....	79
Figura 33-3	Diagrama de estado bomba multietapas N° 1.....	82
Figura 34-3	Diagrama de estado de la instrumentación y control N° 1.....	84
Figura 35-3	Diagrama de estado del motor eléctrico N° 2.....	86
Figura 36-3	Diagrama de estado de la cámara de empuje N°2.....	89
Figura 37-3	Diagrama de estado de la bomba multietapas N°2.....	92
Figura 38-3	Diagrama de estado de la instrumentación y control N° 2.....	94
Figura 39-3	Cálculo de la función acumulativa de fallos F(t) del motor eléctrico N° 1.....	96
Figura 40-3	Probabilidad de Weibull motor eléctrico N° 1.....	97
Figura 41-3	Parámetros de fiabilidad del motor eléctrico N° 1.....	97
Figura 42-3	Fiabilidad vs. Tiempo en el motor eléctrico N° 1.....	98
Figura 43-3	Infiabilidad vs. Tiempo en el motor eléctrico N° 1.....	98
Figura 44-3	Función de densidad de probabilidad de fallas del motor eléctrico N° 1.....	99
Figura 45-3	Tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo motor eléctrico N° 1.....	99
Figura 46-3	Índices de fiabilidad para un tiempo de 7336,76 horas en el motor eléctrico N° 1.....	
Figura 47-3	Cálculo de la función acumulativa de fallos F(t) de la cámara de empuje N° 1.....	100
Figura 48-3	Probabilidad de Weibull sistema de transmisión cámara de empuje N° 101	101

	1.....	
Figura 49-3	Parámetros de fiabilidad en la cámara de empuje N° 1.....	101
Figura 50-3	Fiabilidad vs. Tiempo en la cámara de empuje N° 1.....	102
Figura 51-3	Infiabilidad vs. Tiempo en la cámara de empuje N° 1.....	102
Figura 52-3	Densidad de Probabilidad de la cámara de empuje N°1.....	103
Figura 53-3	Tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en la cámara de empuje N°1	103
Figura 54-3	Índices de fiabilidad para un tiempo de 2886,38 horas en la cámara de empuje N° 1.....	104
Figura 55-3	Calculo de la función acumulativa de fallos F(t) de la bomba multietapas N° 1.....	104
Figura 56-3	Probabilidad de Weibull sistema de bomba multietapas N° 1.....	105
Figura 57-3	Parámetros de fiabilidad en el sistema de bomba multietapas N° 1.....	105
Figura 58-3	Fiabilidad vs. Tiempo en el sistema de bomba multietapas N° 1.....	106
Figura 59-3	Infiabilidad vs. Tiempo en la bomba multietapas N° 1.....	106
Figura 60-3	Densidad de probabilidad de fallas en la bomba multietapas N° 1.....	107
Figura 61-3	Tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en la bomba multietapas N° 1.....	107
Figura 62-3	Índices de fiabilidad para un tiempo de 4526,64 horas en la bomba multietapas N° 1.....	108
Figura 63-3	Cálculo de la Fiabilidad no paramétrica del motor eléctrico N° 2.....	108
Figura 64-3	Probabilidad de Weibull sistema de potencia motor eléctrico N° 2.....	109
Figura 65-3	Parámetros de fiabilidad en el motor eléctrico N° 2.....	109
Figura 66-3	Fiabilidad vs. Tiempo en el sistema de potencia motor eléctrico N°2	110
Figura 67-3	Infiabilidad vs. Tiempo en el sistema de potencia motor eléctrico N° 2.....	110
Figura 68-3	Densidad de probabilidad de fallas en el motor eléctrico N° 2.....	111
Figura 69-3	Tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en el motor eléctrico N° 2.....	111
Figura 70-3	Índices de fiabilidad para un tiempo de 5325,20 horas en el motor eléctrico N° 2.....	112
Figura 71-3	Calculo de la función acumulativa de fallos F(t) de la cámara de empuje N° 2.....	112
Figura 72-3	Probabilidad de Weibull sistema de transmisión cámara de empuje N° 2.....	113
Figura 73-3	Parámetros de fiabilidad en el sistema de transmisión cámara de empuje N° 2.....	113
Figura 74-3	Parámetros de fiabilidad en el sistema de transmisión cámara de	114

	empuje N° 2.....	
Figura 75-3	Infiabilidad vs. Tiempo en el sistema de transmisión cámara de empuje N° 2.....	114
Figura 76-3	Densidad de probabilidad de fallas en la cámara de empuje N° 2.....	115
Figura 77-3	Tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en la cámara de empuje N°2.....	115
Figura 78-3	Índices de fiabilidad para un tiempo de 3401,72 h en la cámara de empuje N° 2.....	116
Figura 79-3	Cálculo de la función acumulativa de fallos $F(t)$ de la bomba multietapas N° 2.....	116
Figura 80-3	Probabilidad de Weibull sistema de bomba multietapas N° 2.....	117
Figura 81-3	Parámetros de fiabilidad en la bomba multietapas N° 2.....	117
Figura 82-3	Fiabilidad vs. Tiempo en la bomba multietapas N° 2.....	118
Figura 83-3	Infiabilidad vs. Tiempo en la bomba multietapas N° 2.....	118
Figura 84-3	Densidad de probabilidad de fallas en el sistema de bombeo multietapas N° 2.....	119
Figura 85-4	Tasa de Fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en la bomba multietapas N° 2.....	119
Figura 86-3	Índices de fiabilidad para un tiempo de 3297,54 horas en la bomba multietapas N° 2.....	120
Figura 1-4	Diagrama de flujo del sistema de reinyección de agua.....	127

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Página
Ecuación 1-2	Tiempo medio entre fallas..... 23
Ecuación 2-2	Tiempo medio entre fallas..... 23
Ecuación 3-2	Fiabilidad..... 23
Ecuación 4-2	Infiabilidad..... 23
Ecuación 5-2	Densidad de probabilidad de fallo..... 24
Ecuación 6-2	Fiabilidad en función del tiempo medio entre fallas..... 24
Ecuación 7-2	Tasa de falla..... 25
Ecuación 8-2	Probabilidad de trabajo sin fallo o fiabilidad $R(t)$ 26
Ecuación 9-2	Probabilidad de que un equipo falle antes de tiempo (t) 26
Ecuación 10-2	Función de densidad de probabilidad de fallo $f(t)$ 26
Ecuación 11-2	Mediante ley de Weibull tiempo medio entre fallas..... 27
Ecuación 12-2	Fiabilidad de un sistema en serie..... 31
Ecuación 13-2	Fiabilidad de un sistema en paralelo..... 32
Ecuación 14-2	Fiabilidad de un sistema en paralelo de todos sus componentes..... 32
Ecuación 1-3	Aproximación de rango de medianas o método de Bernard..... 76

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Registro ordenes de trabajo correctivos generadas por el sistema o software Maximo Oil&Gas bombas de reinyección de agua HPS N° 1 y 2.
- Anexo B:** Cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el papel de Weibull.
- Anexo C:** Tabla de la ley de Weibull para el cálculo del parámetro A para la determinación del valor medio.
- Anexo D:** Procedimiento para comprobación de hipótesis.

TÉRMINOS ABREVIADOS

A	Amperios
API	American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo)
PSI	Pounds per Square Inch (Libras por pulgada cuadrada)
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
V	Voltaje
BAPD	Barriles de agua por día
BRA	Bombeo reinyección de agua
HPS	Horizontal Pump System
TMEF	Tiempo medio entre fallos
MTBF	Tiempo medio entre fallos
MTTF	Tiempo hasta el fallo
MTTR	Tiempo medio para reparar
WO	Orden de trabajo
PM	Mantenimiento preventivo
RS	Fiabilidad del sistema
TCH	Cámara de empuje
TTF	Tiempo al fallo.
TTR	Tiempo para reparar
λ	Tasa de fallos
β	Parámetro de forma Weibull
α	Parámetro de vida característica
γ	Parámetro de localización
f(t)	Función de densidad
F(t)	Función de in fiabilidad
R(t)	Función de fiabilidad
(t)	Duración de vida
T	Tiempo
t_0	Tiempo inicial o parámetro de localización
TBF	Tiempo de buen funcionamiento

RESUMEN

Actualmente los mercados petroleros son más competitivos y el petróleo debe extraerse al menor precio, para cumplir este requerimiento se debe contar con un sistema de bombeo de reinyección de agua que pueda mantener especificaciones técnicas durante un tiempo, esto dio origen al presente proyecto de investigación que tuvo como finalidad establecer la propuesta de un plan de mantenimiento empleando la ingeniería de la fiabilidad en base al análisis de la función tasa de fallos $\lambda(t)$ aplicado al sistema de bombeo de reinyección de agua del campo Auca bloque 61 de la empresa Petroamazonas EP, ubicado en la provincia de Orellana. Anticipar y contener los fallos nos ayudarán a evitar sus causas y consecuencias para disminuir sus ocurrencias. La metodología utilizada fue una investigación de campo y bibliográfica documental se recopila los registros históricos de fallas de las unidades, estos datos y la ayuda del software Fiasoft sirvieron para establecer el modelo matemático estadístico y determinar los índices de fiabilidad. Con los resultados y los parámetros de fiabilidad obtenidos se propuso tareas para lograr optimizar el plan de mantenimiento y evitar que la fiabilidad del sistema sea inferior al 45% y disminuir la ocurrencia de las fallas lo que significa reducción de costos por mantenimientos correctivos y paros imprevistos, garantizando así la fiabilidad del sistema y los tiempos de disponibilidad de los equipos. Se recomienda dar estricto cumplimiento a la periodicidad de cada una de las tareas del plan de mantenimiento propuesto.

Palabras claves: <MANTENIMIENTO>, <FIABILIDAD>, <FUNCIÓN TASA DE FALLOS>, <SOFTWARE FIASOFT>, <SISTEMA DE BOMBEO REINYECCION DE AGUA>, <ÍNDICES DE FIABILIDAD>, <REGISTRO DE FALLOS>, <MODELO MATEMÁTICO>, <PLAN DE MANTENIMIENTO>.

ABSTRACT

At present oil markets are more competitive and oil must be extracted at the lowest Price. To meet this requirement it is necessary to have a water reinjection pumping system capable to keep technical specifications for some time, this led to this research project which purpose is to establish a proposed maintenance plan using reliability engineering based on the analysis of the rate function fault $\lambda(t)$ applied to the water reinjection pumping system on Auca Field, Block 61 of the Petroamazonas EP company located in the province of Orellana. Foresee and contain break downs will help us to avoid the causes and consequences in order to prevent it from happening. The methodology used was a field research and literature documentary, a historical record of unit failures was compiled, these data and software support Fiasoft served to establish the statistical mathematical model and determine the reliability indices. With the results and reliability parameters obtained tasks are proposed in order to optimize the maintenance plan and prevent system reliability to be less than 45% and reduce the occurrence of faults which means costs reduce for corrective maintenance and unplanned shutdowns, ensuring this way system reliability and availability times of equipment. It is recommended to strictly comply with the frequency of each of the tasks proposed. It is recommended to strictly comply with the frequency of each of the tasks proposed in this maintenance plan.

KEYWORDS: <MAINTENANCE>, <RELIABILITY>, <RATE FUNCTION FAULT>, <SOFTWARE FIASOFT>, <WATER REINJECTION SYSTEM PUMPING>, <RELIABILITY INDICES>, <FAULT LOG>, <MATHEMATICAL MODEL>, <PLAN MAINTENANCE>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En el Oriente Ecuatoriano en la provincia de Orellana se encuentra ubicado el Campo Petrolero Auca Bloque 61 donde se desarrollará este proyecto de tesis, este campo pertenece a la Empresa Pública PETROAMAZONAS EP, la misma que realiza actividades asumidas por el Estado Ecuatoriano en el Sector Estratégico de los Hidrocarburos y sustancias que se encuentran en ellas, en las etapas de exploración y explotación; con patrimonio propio, autonomía presupuestaria, económica, administrativa y de gestión; establecida al amparo de la Ley Orgánica de Empresas Públicas, mediante Decreto Ejecutivo No. 314 de 06 de abril de 2010, anunciado en el Registro Oficial Suplemento No 171 del 14 de abril de 2010.



Figura 1-1. Campo Petrolero Auca Bloque 61

Fuente: Google earth, 2016

En la fase de deshidratación o separación del petróleo (petróleo-agua-gas) se produce agua de formación la cual para su bombeo requiere de un sistema de reinyección en el proceso y se compone de un conjunto de subprocesos para la obtención del producto final.

La fiabilidad y la mantenibilidad en el sector industrial son técnicas que están aún empezando a emplearse de forma habitual en problemas de ingeniería, por lo que como rama emergente presenta interesantes retos futuros. Uno de estos retos está relacionado con el concepto de ingeniería robusta. La robustez estadística puede definirse como: la destreza (de un producto o proceso) para cumplir su función, de forma efectiva, bajo unos ciertos contextos operativos, la seguridad humana y la preservación medioambiental.

La aplicación de métodos de nueva aparición en el campo de la fiabilidad y mantenibilidad, como es el caso de modelos de tipo no paramétrico, la simulación de sistemas complejos, o las técnicas RAM que relacionen la mantenibilidad y la fiabilidad de sus componentes, serán una de las líneas que de seguro, más pronto que tarde, irán incorporándose en estos estudios.

Por lo que se podría concluir, que dado que los problemas de fiabilidad generan interesantes y complejos retos para ser investigados, divulgados e implantados, parece claro que estas técnicas continuarán creciendo y evolucionando para conseguir sistemas más fiables en el campo industrial.

1.1. Problema de investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

Como es de conocimiento general el petróleo es una mezcla de compuestos orgánicos y es uno de los minerales más usados como materia prima para conseguir energía, entre ellos los combustibles como el diesel, la gasolina; el petróleo se utiliza también en procesos químicos para fabricar plásticos, fertilizantes, pinturas, medicinas, ceras y colores los cuales son derivados de productos petroquímicos del petróleo en todo el mundo. El petróleo se encuentra ubicado bajo la superficie terrestre a miles de metros de profundidad y bajo ciertos parámetros y condiciones de presión y temperatura.

Conjuntamente con el petróleo sale gas y agua de formación de los pozos productores, el término “agua de formación” representa el agua que se halla con el petróleo y el gas en los depósitos o yacimientos de hidrocarburo, el volumen de agua de formación depende de la arena productora y del tipo de levantamiento artificial que se utilizará para su extracción

Esta agua de formación es uno de los problemas más significativos en la fase de separación del petróleo en (crudo-agua-gas) la separación de crudo y agua generan grandes gastos económicos durante el proceso de tratamiento químico de la deshidratación.

Debido al aumento de la producción de petróleo del Campo Auca BL-61 (65550 barriles de petróleo por día) se ha generado incrementos continuos en el volumen de agua de formación (67750 Barriles de agua por día), provocando que las actividades de mantenimiento que aunque

sean temporales distorsionan la continuidad del proceso productivo, por lo que resulta imprescindible contar con una alta disponibilidad y fiabilidad del sistema de reinyección de agua, ya que sin el mismo estaría paralizada la actividad que aquí se desarrolla porque no se podrá reinyectar el agua de formación producto de la separación del crudo.

Durante el período 2010 - 2015 las bombas de reinyección de agua del sistema presentaron un total de 36 fallas.

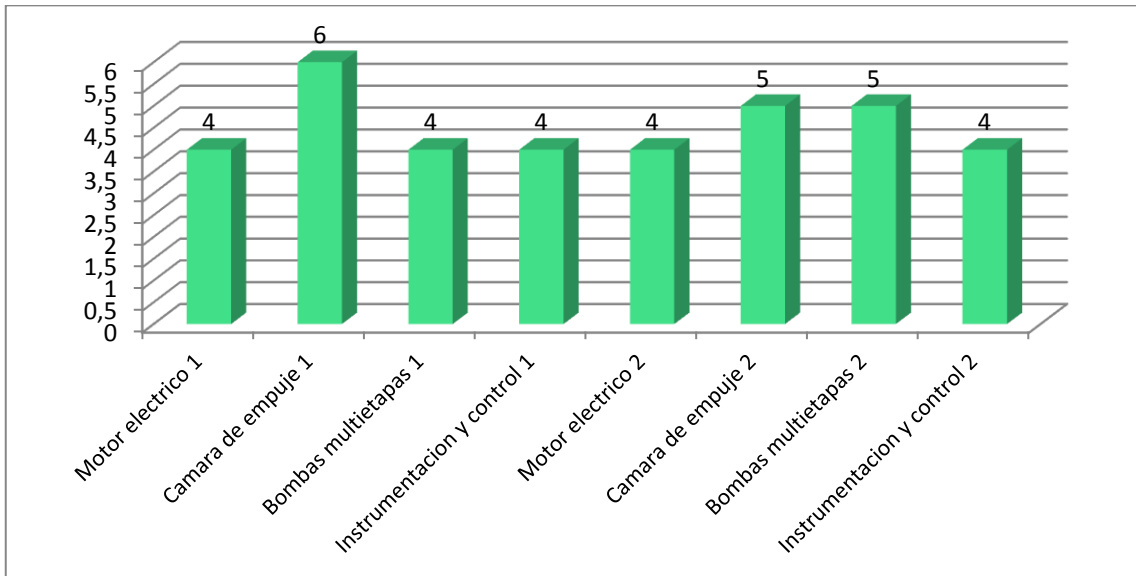


Figura 2-1. Fallas del sistema de bombeo de reinyección de agua.

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Por lo tanto se considera imprescindible contar con una alta fiabilidad del sistema de reinyección para garantizar el funcionamiento continuo de los equipos a través de nuevas herramientas de gestión de mantenimiento que incrementen su vida útil, disminuyan los costos de mantenimiento y consideren aspectos relevantes como la producción, la seguridad humana y la preservación medio-ambiental.

Los problemas centrales que desencadenan en fallas imprevistas fueron identificados y se destacan los más significativos:

- Actualmente no se tiene un plan de mantenimiento basado en un estudio de fiabilidad para las bombas de reinyección de agua. Esto se ve claramente reflejado en las pérdidas de producción por paros imprevistos de los equipos.
- Los reportes de fallas ingresadas al software de gestión de mantenimiento Oil&Gas no son ingresadas al sistema de acuerdo a la norma ISO 14224.

1.1.2. Formulación del problema.

¿Resultará necesario la aplicación de la ingeniería de la fiabilidad en el cual se pueda utilizar técnicas modernas en la gestión del mantenimiento del sistema de reinyección de agua en base al análisis de la función tasa de fallos $\lambda(t)$ dependiente del tiempo, para mantener los equipos en condiciones normales de operación dentro de un tiempo determinado, mejorando de esta manera la eficiencia al menor costo posible?

¿Será posible en base al análisis de la tasa de fallos $\lambda(t)$ establecer la distribución de probabilidad de Weibull y determinar los índices de fiabilidad del sistema de bombeo durante su tiempo de vida útil para garantizar la efectividad del plan de mantenimiento?

1.1.3. Sistematización del problema.

El sistema de bombeo de reinyección de agua está compuesto por: un tanque de reposo, unidades de bombeo para el tratamiento químico, unidades centrífugas de transferencia, tanque de almacenamiento de agua de formación o tanque desnatador, unidades centrífugas boosters, filtros tipo strainer para el filtrado de agua, transformadores, variadores, unidades de reinyección de agua HPS (System Horizontal Pump), sumidero y un pozo de reinyección de agua, de los cuales la tasa de fallos más alta se produce en las unidades de reinyección de agua.

Frente a esta situación se plantea el desarrollo de un plan de mantenimiento empleando la ingeniería de la fiabilidad, para lograr que el sistema mejore la disponibilidad y fiabilidad de los componentes de los equipos en base al análisis de la función tasa de fallos $\lambda(t)$, implementando nuevas rutas, frecuencias y tareas de inspección, reparación y reemplazo de componentes, lo cual reducirá el número de fallos funcionales. Estas tareas serán sostenibles si, en un período de tiempo, el costo de ejecutarla es menor que el costo de permitir que ocurra el fallo.

La información incompleta en los reportes de fallos ocurridos, hace necesario asegurar la calidad de la información para garantizar su veracidad basada en el estándar de la norma ISO 14224-2006 (o superior).

Es indispensable establecer un análisis de fiabilidad a los equipos-bombas del sistema de reinyección de agua, implementar tareas de mantenimiento preventivo, modificativo y

predictivas basados en los indicadores de fiabilidad, para disminuir los tiempos de paro lo que permitirá reducir la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de fallos.

1.1.4. Justificación de la investigación.

El motivo de llevar a cabo este estudio parte de la importancia que tiene para el Campo Auca, el tener una buena fiabilidad, disponibilidad y operatividad de los equipos del sistema de reinyección de agua. Actualmente la disponibilidad de los equipos del sistema se ha visto afectada por la alta ocurrencia de fallas, por lo cual se requiere realizar un estudio que nos permita conocer de manera específica los puntos más vulnerables, las fallas más frecuentes, así como conocer la disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad de sus equipos, con el fin de tomar medidas que contribuyan a disminuir y prevenir las fallas y eliminar en gran parte la cantidad de mantenimientos correctivos que al momento se están llevando a cabo.

El Campo Auca Bloque 61 donde se desarrollará el presente proyecto de tesis es el tercer campo de PETROAMAZONAS EP con la mayor producción de petróleo 65550 (barriles de agua por día) y ha ido en aumento la producción año tras año por ello es necesario que el sistema de reinyección de agua mejore la fiabilidad y disponibilidad de sus equipos y componentes mediante el involucramiento de todos los colaboradores en las operaciones.

En la actualidad la detección de equipos por averías es alta esto debido a muchos factores tales como la falta de capacitación para realizar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivos menores.

El presente trabajo de investigación se realizará con el propósito de elaborar un plan de mantenimiento basado en estudios de fiabilidad aplicados a los sistemas de reinyección de agua y lograr identificar cual es la gestión de mantenimiento más adecuada para este sistema, considerando su contexto operacional.

Este plan pretende servir de guía práctica al personal de mantenimiento de otros campos que cuenten con los mismos sistemas y equipos de reinyección de agua.

1.1.5. Objetivos de la investigación.

1.1.5.1. Objetivo general.

Desarrollar la propuesta de un plan de mantenimiento empleando la ingeniería de la fiabilidad en base al análisis de la función tasa de fallos $\lambda(t)$ aplicado al sistema de bombeo de reinyección de agua del campo Auca bloque 61 de la empresa PETROAMAZONAS EP.

1.1.5.2. Objetivos específicos.

Describir el contexto operativo actual del sistema de bombeo de reinyección de agua y las principales actividades de mantenimiento.

Identificar los modos de fallas datos reales de ocurrencia, con la información técnica física y operativa disponible que se han presentado en el sistema.

Analizar la tasa de ocurrencia asociada a cada uno de los modos de falla para un tiempo (t) en función de distribución y tasa de fallos.

Desarrollar un plan de mantenimiento aplicando los estudios de fiabilidad en base a la tasa de fallos para poder lograr cada vez niveles más altos de disponibilidad del sistema.

1.1.6. Justificación de la investigación.

Conjuntamente con el petróleo sale gas y agua de formación, esta agua de formación es uno de los problemas más significativos en la fase de separación del petróleo, debido al aumento de producción de petróleo en el campo Auca se ha incrementado el volumen de agua de formación por lo que resulta imprescindible la necesidad de diseñar planes de mantenimiento mediante una metodología formal de análisis de fallas y de las causas que originan las fallas para aumentar la confiabilidad y disponibilidad del sistema de reinyección de agua.

Por lo tanto se requiere desarrollar un plan de mantenimiento empleando la ingeniería de fiabilidad en base al análisis de la función tasa de fallos $\lambda(t)$ que permita utilizar métodos para determinar la función de distribución de fallo desde el punto de vista estadístico a la que más se ajustan los tiempos de trabajo sin fallo de los equipos del sistema.

1.1.6.1. Justificación práctica.

Con los estudios de fiabilidad de los equipos que conforman el sistema de reinyección de agua a partir de datos históricos del fallo y las condiciones de operación se logrará cada vez niveles más altos de disponibilidad del sistema.

El trabajo de investigación desarrollado pretende dar inicio al uso de métodos estadísticos para la distribución de tiempos de trabajo sin fallo utilizando cálculo de probabilidades para beneficio del sistema de reinyección de agua del campo Auca Bloque 61.

1.1.7. Hipótesis.

1.1.7.1. Hipótesis de Investigación.

Hipótesis

La propuesta de un plan de mantenimiento basado en un estudio de fiabilidad, en función de la tasa de fallos de las unidades de bombeo HPS del sistema de reinyección de agua permitirá pronosticar el comportamiento futuro de los equipos para prevenir paros imprevistos en los mismos a través de la toma de decisiones basada en el tiempo medio entre fallos y los índices de fiabilidad.

CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA.

2.1. Estado del arte.

Fueron diversas las fuentes que se investigaron sobre el estudio de la ingeniería de la fiabilidad en base a los análisis de fallos que luego de ser analizadas se pudo evidenciar de la importancia del tema en la industria; es indispensable contar con sistemas fiables que garanticen la disponibilidad y disminuya costos de operación y mantenimiento. Las investigaciones más importantes se encuentran en bibliotecas digitales de las universidades como: (www.bibdigital.epn.edu.ec)

No se encontraron investigaciones específicas relacionadas al tema objeto del presente estudio, a continuación se presentan algunas investigaciones relacionadas al tema objeto del presente estudio:

ZAMORA, I. (2012). “Modelación de un sistema de reinyección de agua de formación en una campo petrolero”. Ecuador, se orienta a realizar una modelación en estado estable y flujo monofásico del punto óptimo de operación del sistema de bombas y el sistema de redes de tuberías.

SANCHEZ, R. (2015). “Mantenimiento de maquinaria pesada y su incidencia en la fiabilidad de los equipos mecánicos en la empresa JVC Equipos S.A. en el cantón Shushufindi. Ecuador, planifica el proceso de mantenimiento para mejorar la organización del personal y de los equipos mecánicos de la empresa.

CANA, P. (2006). “Análisis RAM de la planta de inyección de agua Resor de Petróleos de Venezuela, S.A”. Venezuela, realiza un análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la planta de inyección de agua Resort, con la finalidad de mantener la continuidad operacional.

MURILLO, J. (2011). “Análisis de fiabilidad en el grupo de bombeo P-303 de la estación Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Macul de la Empresa Pública EP-

Petroecuador”. Ecuador, realiza un análisis de fiabilidad 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.

2.2. Marco teórico.

Se definirán los conceptos relevantes con respecto al mantenimiento, ingeniería de la fiabilidad, tasa de fallos, métodos, aplicados al sistema de reinyección de agua del Campo Auca, Bloque 61 de la Empresa Petroamazonas EP.

En la actualidad cualquier empresa requiere que sus sistemas sean fiables para poder competir en el mercado. La fiabilidad es entendida como la capacidad para desempeñar correctamente una actividad sostenida en el tiempo, redonda en aspectos tan relevantes como la producción, el coste, la seguridad humana y la prevención medioambiental.

La monitorización de esta capacidad es de remarcada importancia para gestionar de forma eficiente cualquier servicio o sistema, y en especial, los sistemas técnicos. La fiabilidad puede ser interpretada como un “indicador” susceptible de ser monitorizado.

2.2.1. Conceptos y terminología.

La terminología utilizada en este trabajo de investigación está referida a normativas entre las que se pueden destacar:

- ISO 14224 Segunda edición: Industrias de petróleo y gas natural – recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.
- AENOR UNE-EN 13306: Industria del mantenimiento.
- SAE JA 1011: Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad.

2.2.2. Mantenimiento.

2.2.2.1. Definiciones de mantenimiento.

De acuerdo con EN 13306, (2011), el mantenimiento es la unión de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un elemento o equipo, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida.

Según Martínez (2007), el mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para controlar el estado técnico de los elementos que conforman una instalación industrial y restaurarlos a las condiciones proyectadas de operación, buscando la mayor seguridad, eficiencia y calidad posibles.

Según Espinoza (2005), el mantenimiento es el conjunto de acciones que permiten salvaguardar un activo tales como equipos, máquinas, instrumentos, instalaciones, etc., en un estado adecuado de funcionamiento eficiente y que represente un costo integral mínimo, es por ello que el término mantener implica la noción de prevención en un sistema de mantenimiento, restablecer la noción de corrección después de una partida o funcionamiento o daño, lo cual permita la predeterminación de los objetivos a conseguir y cuantificar los niveles de valoración, y por último, un costo integral óptimo que represente rentabilidad y eficiencia de la gestión y el correcto funcionamiento de los equipos, el ambiente y la seguridad laboral.

Es por tanto que se considera que las actividades de mantenimiento deben orientarse, a reducir al mínimo posible la indisponibilidad de las instalaciones y/o equipos y a eliminar su disfuncionamiento que, aunque sean breves, los mismos pueden distorsionar la continuidad del proceso productivo, por lo que se considera que la disponibilidad y la fiabilidad constituyen dos índices básicos para medir la eficacia del mantenimiento.

2.2.3. Objeto del mantenimiento.

El mantenimiento, propende el correcto funcionamiento de los activos de una organización durante su ciclo de vida útil con calidad, en forma eficaz, eficiente y coste - efectivo.

2.2.4. *Objetivo del Mantenimiento Industrial.*

Según Martínez (2007), el mantenimiento industrial, en forma general, es una actividad dirigida a conservar los equipos e instalaciones en condiciones óptimas de funcionamiento, durante un período predeterminado y al menor costo, contribuyendo así a lograr los objetivos de la organización y brindando satisfacción a las expectativas de las partes interesadas, es decir: los dueños de la empresa, sus empleados, clientes y proveedores, así como de la sociedad donde la organización desarrolla sus actividades productivas.

2.2.5. *Tipos de mantenimiento.*

A continuación, se ilustra gráficamente la clasificación de los tipos de mantenimiento, en función de los objetivos que cada uno persigue respecto a la falla.

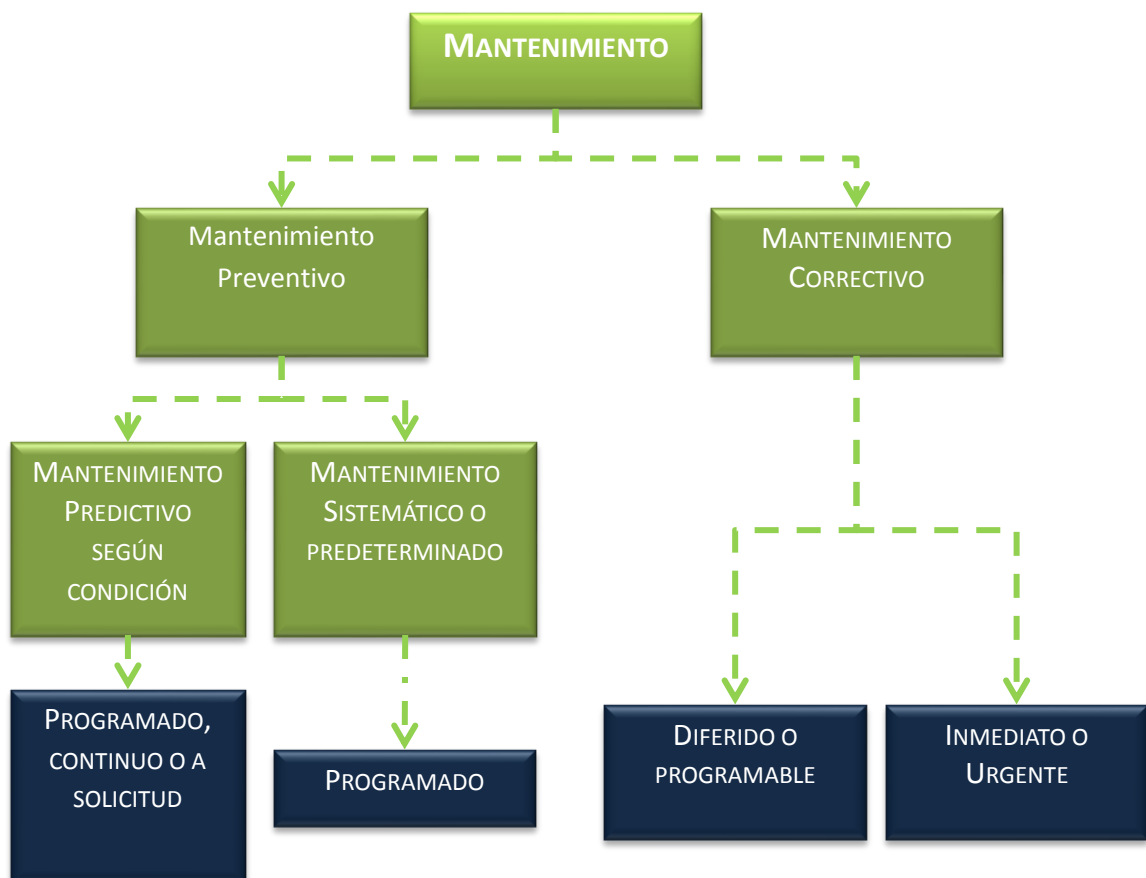


Figura 1-2. Tipos de mantenimiento.

Fuente: Norma EN 131306, 2001, p. 32.

Es así que los tipos de mantenimiento son:

Mantenimiento Preventivo: Mantenimiento ejecutado a intervalos predeterminados o de acuerdo con unos criterios prescritos, y destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación de funcionamiento de un elemento.

Mantenimiento Sistemático o Predeterminado: Mantenimiento preventivo ejecutado de acuerdo a unos intervalos de tiempo establecidos, o a un número de unidades de uso, pero sin investigación previa de la condición del elemento.

Mantenimiento basado en la condición: Mantenimiento preventivo basado en la monitorización del funcionamiento y/o de los parámetros del elemento, y las acciones subsiguientes.

Mantenimiento Correctivo: Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería, y destinado a llevar un elemento a un estado en el que pueda desarrollar una función requerida.

Mantenimiento diferido o programable: Mantenimiento correctivo que no es ejecutado inmediatamente después de la detección de una avería, sino que es retrasado de acuerdo con las reglas de mantenimiento dadas.

Mantenimiento inmediato o urgente: Mantenimiento correctivo que es ejecutado sin dilatación después que la avería se ha detectado, con el fin de evitar consecuencias inevitables.

2.3. Conceptos básicos de fiabilidad.

2.3.1. Fiabilidad.

A criterio de Sexto (2012), la ingeniería de la fiabilidad se denomina al conjunto de todo tipo de acciones tomadas en cuanto a diseño, desarrollo, fabricación, operación y mantenimiento que hacen posible la fiabilidad necesaria para cumplir ciertos objetivos.

Para Mora (2012), fiabilidad se denomina 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.

La Ingeniería de la Fiabilidad es una disciplina madura dentro del campo de la ingeniería y cada día más importante y demandado de la gestión moderna empresarial. Entre los objetivos que la ingeniería de la fiabilidad pretende alcanzar se pueden citar los siguientes:

- Prever y contener las causas que originan fallos en los sistemas técnicos y posibilitar la aplicación de medidas preventivas para evitar su ocurrencia (Indicadores del tipo fiabilidad, Disponibilidad, Seguridad, Tasa de Fallos, etc.).
- Identificar y comprobar los mecanismos que eventualmente pudieran conducir a fallos (Procedimientos FMEA, FMECA, Análisis de vulnerabilidad, etc.).
- Indagar procedimientos que permitan reducir la posibilidad o frecuencia de ocurrencia de fallos a pesar de los esfuerzos destinados a prevenirlos (Diseños más fiables, políticas de mantenimiento e inspección, etc.).
- Utilizar métodos para valorar la fiabilidad de nuevos diseños para estudiar datos de fallos a fin de mejorar futuros diseños.

Hay ciertos aspectos relativos en la fiabilidad que deben explicarse y formalizarse para proceder adecuadamente. El primero de ellos es que la fiabilidad se define para un determinado “activo industrial” (componente, equipo, sistema, producto o servicio), y el segundo es que la fiabilidad está muy liada con la aparición de Fallos y Averías, por lo que es necesario relacionarla con los mismos.

2.3.2. Componentes, equipos y sistemas.

Para Galván (2014, p. 8), “el concepto de activo industrial se describe de forma genérica a todo tipo de componente, equipo, sistema, producto o servicio. Dado que, en este texto, el enfoque están eminentemente orientado a sistemas técnicos, de aquí en adelante se usará ese concepto para referirse a componentes, equipos y sistemas, tal y como se definen a continuación”:

2.3.2.1. *Componente.*

Componente es aquel activo industrial que no puede ser descompuesto (desagregado) en unidad o partes individuales. Cuando ocurre una falla se sustituye y no se repara, por ejemplo una bombilla, tarjetas de circuitos eléctricos, rodamientos, etc.

2.3.2.2. *Equipo.*

Es un activo industrial que incluye la composición de partes reunidas para dar como resultado una misión conjunta. Ejemplo: Bombas centrífugas, grupos electrógenos, etc.

2.3.2.3. *Sistema.*

Galván (2014), señala que un sistema desde el punto de vista operativo se logra definir como la agrupación de elementos hasta crear una entidad funcional.

Por lo tanto, desde la óptica del análisis de Fiabilidad se define al sistema como la agrupación de activos que permiten actuar sobre los mismos para mejorar la calidad del conjunto. Ejemplos típicos son: Sistema de reinyección de agua, sistema eléctrico, etc.”

2.3.3. Características del proceso de fallos.

Según Galván (2014), se definen los siguientes conceptos:

2.3.3.1. *Función.*

Objetivo o tarea que debe desempeñar el activo.

2.3.3.2. *Fallo.*

Interrupción en la capacidad de un elemento para desarrollar una función pretendida. (ISO 14224, 2006, p. 4).

2.3.3.3. *Avería.*

Etapa de un elemento determinado por la incapacidad para desarrollar una función demandada, excluyendo la incapacidad durante el mantenimiento preventivo o por otras acciones planificadas, debido a la falta de recursos externos. (ISO 14224, 2006, pg. 5).

Obsérvese que según las definiciones anteriores un fallo es un evento, mientras que una avería es un estado.

2.3.3.4. *Mecanismo de fallo.*

Suceso que conduce al fallo funcional. Los mecanismos de fallo son procesos físico – químicos que llevan a la ocurrencia de un fallo funcional y se manifiesta con un modo de fallo determinado.

Los mecanismos de fallo son a veces precipitados o desaletargados por causas externas a los propios sistemas, debido a la variabilidad de los contextos operativos de los mismos. Estas son las denominadas Causas de Fallo.

2.3.3.5. *Tasa de fallo.*

Sexto (2012), es una función que representa el número de fallos de un sistema, equipo o componente que puede suceder en cierto tiempo. Es la capacidad inherente que tiene un sistema de continuar en operando en forma continua en presencia de una o más fallas.

2.3.3.6. *Modo de fallo*

Expresión o consecuencia por el cual se observa a un activo después de que suceda un mecanismo de fallo. Se puede tener agrupado varios modos de fallo a un mismo activo a los que es posible asignar diferentes valores de importancia denominados “criticidad”. Un modo de fallo puede acontecer provocado por varios mecanismos de fallo diferentes.

El fallo de causa común puede afectar más de un activo y/o a varios modos/mecanismos de fallo. La dependencia entre los fallos que se suceden en los sistemas técnicos es un fenómeno usual.

El fallo de un componente puede exigir que el resto trabaje en un modo de operación más exigente, lo que se conoce como estrés. Este estrés ocasiona que la posibilidad de fallo en un momento determinado se incremente respecto a la que tenía cuando operaba en condiciones normales.

Las fuentes de información para establecer los fallos y los modos de fallo que puede presentar un equipo son diversos, entre los principales se tiene los siguientes:

- Histórico de averías
- Personal de mantenimiento

Los modos y mecanismos de fallo para los activos industriales de uso frecuente han sido estudiados y almacenados en bases de datos, cabe citar las bases de datos RIAC4 y OREDA 5, así como los valores de referencia que pueden ser encontrados los Military Standars (MIL-STD2074(AS), MIL-HDBK) generados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

2.3.4. *Fallos funcionales y fallos técnicos.*

2.3.4.1. *Fallo funcional.*

García (2008), especifica como fallo funcional a aquel que imposibilita al equipo o al sistema analizado desempeñar su funcionamiento, para determinar un fallo funcional únicamente es

necesario establecer la función que cumple y definir el fallo, es así que como en el caso de una bomba que no bombea.

2.3.4.2. Fallo técnico.

García (2008), indica que en cambio un fallo técnico es aquel que, no impidiendo al activo que desempeñe su función, presume un funcionamiento anormal a este.

2.3.5. Los Fallos son inevitables.

Galván (2014), indica que si bien se distinguen grandes esfuerzos y recursos para predecir y prevenir fallos en los sistemas técnicos, la aparición de fallos es inevitable, es decir, no pueden eliminarse totalmente. Por lo tanto, otro objetivo planeado por la Ingeniería de la Fiabilidad es desarrollar las metodologías de análisis de mecanismos y modos de fallo, así como estimar sus efectos, tanto para prevención como para poder contener o minimizar el impacto de los mismos una vez que ocurre.

Existen diferentes procedimientos metódicos para desarrollar este tipo de análisis, pero uno de los más desarrollados es el conocido como AMFE (FMEA de sus siglas en inglés) y AMFE+C, Análisis modal de fallos y Efectos y análisis modal de fallos, Efectos y criticidad, respectivamente

2.3.6. No puede predecirse el instante de un fallo.

Según Galván (2014), ninguna metodología existente en la Ingeniería de la fiabilidad permite predecir el momento de un fallo con absoluta certeza. El proceso de fallo, tal y como se analiza en apartado posteriores, es un fenómeno con una fuerte componente aleatoria que está influenciado por un gran número de variables que por lo general no son controlables simultáneamente.

2.4. Perfil de funcionalidad.

Según Mora, (2012), durante la vida útil un aparato, una maquina o un dispositivo puede encontrarse en dos posibles estados SoFa (state of failure) estado de falla y SoFu (state of functioning) estado de funcionamiento normal. Los estados del equipo se denominan perfil de funcionalidad.

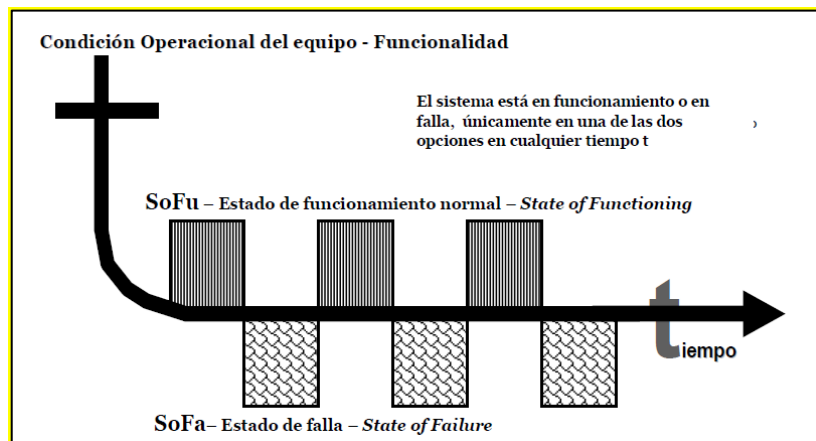


Figura 2-2. Diagrama de estado de un equipo.

Fuente: Mora, 2012.

2.5. Origen de los fallos y la tasa de fallos.

Los fallos en cualquier activo pueden producirse a lo largo de toda la vida del mismo, pero en general existen tres etapas bien diferenciadas en el tiempo representadas mediante la curva de la bañera o de Davies.

2.5.1. Curva de Davies (de bañera) asociada al mantenimiento.

Según Mora, (2012), las distintas tareas que se resuelven realizar por parte de mantenimiento y producción obedecen entre otros parámetros de la curva de la bañera o de Davies, donde se indica la avance en el tiempo frente a la tasa de fallos $\lambda(t)$ y el valor del parámetro de forma β

del equipo que se evalúa acorde a su valor para ese momento del equipo, se selecciona si las tareas del mantenimiento deben ser: correctivas, modificativas, preventivas o predictivas, al tener en cuenta la fase en que se encuentra el elemento o sistema.

En donde:

Fase I: Mortalidad infantil o periodo de infancia o de rodaje.

Fase II: Período vida útil o de madurez.

Fase III: Período de desgaste, de envejecimiento o de vejez.

2.5.1.1. Fase I: Período de infancia.

Tiene la particularidad que es decreciente, y a medida que transcurre el tiempo la posibilidad de que ocurra una falla reduce y se estabiliza a un tiempo aproximado t_1 . Por lo general en esta fase I o etapa inicial se lo denomina período de “arranque”, las tareas de mantenimiento que se recomiendan son correctivas o modificativas en especial las primeras dado que las fallas que aparecen siempre serán diferentes.

Las fallas en la fase I pueden ocurrir por:

- Fallas y errores de fabricación y ensamblaje
- Control de calidad inadecuado.
- Montaje e instalación incorrecta.
- Operación inadecuada.
- Métodos incorrectos de empaque y transporte.

Las fallas infantiles se pueden eliminar mediante:

- Tareas o acciones de mantenimiento correctivas o modificativas
- Procedimientos adecuados de instalación y montaje
- Control de calidad.
- Pruebas de arranque.

2.5.1.2. Fase II: Período de vida útil.

Se determina por fallas enmarcadas en origen técnico ya sea de operaciones o procedimientos humanos o de equipos, la probabilidad de fallas en esta fase II es constante, indiferente del tiempo que transcurra. El índice de falla está relacionado con la fiabilidad del diseño. Es la fase II más significativo para la predicción de la fiabilidad y las actividades de evaluación.

Las fallas en esta etapa pueden producirse por:

- Los errores son aleatorios e impredecibles.
- Errores humanos.
- Incorrecta utilización de equipos.
- Omisión de procedimientos operacionales.
- Sobre cargas imprevistas.
- Fallas ocultas durante el arranque.
- Accidentes o fallas inesperadas.

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

- Chequeo periódico del contexto operacional.
- Control de las variables de operación.
- Aplicación de técnicas de tipo modificativo cuando las fallas son esporádicas o recurrentes.

2.5.1.3. Período de desgaste.

En esta fase III se observa un incremento de la tasa de fallos, en la medida que aumenta el tiempo hacia la derecha en esta sección se muestran varias etapas:

Según Mora (2012), en el ciclo I de la fase III la tasa de fallas comienza a ampliar en forma suave, es decir su aumento es bajo y crece hacia la derecha en forma ligera, las fallas que asoman son conocidas y se principia a tener experiencia y conocimiento sobre ellas, son debidas a los efectos del tiempo por causa de uso.

En esta fase ya se empiezan a utilizar acciones de tipo preventivo ya que las fallas se conocen y se tiene algún control sobre ellas, es la etapa donde la ingeniería de fiabilidad principia a tener dominio sobre el sistema.

En la etapa II de la fase III aumenta la tasa de fallos en forma constante, en esta sección se comienza la transición de acciones preventivas hacia acciones predictivas el comportamiento de las fallas comienza hacer predecible, es la zona donde se consigue implementar acciones preventivas.

Finalmente aparece la zona III de la fase III de envejecimiento o desgaste, en esta zona la vida útil del elemento se precipita y la tasa de fallas se incrementa rápidamente, en esta etapa se hace el uso de acciones predictivas y cuando estas ya no mejoran la mantenibilidad de la máquina se realiza el cambio o reemplazo de componentes.

La mayor parte de los componentes son diseñados y fabricados para que tengan un período o tiempo determinado de vida útil, al finalizar este tiempo (período de vida útil) comienza el período de desgaste, después de este punto el índice de falla aumenta.

Las fallas en esta etapa pueden producirse por:

- Oxidación y corrosión
- Desgaste por fricción.
- Envejecimiento o degradación.
- Deformación progresiva.
- Malas prácticas de mantenimiento.

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

- Sustitución cíclica de los componentes de un equipo antes de que finalice su vida útil mediante planes de mantenimiento preventivo.
- Controlar las variables técnicas y humanas de mantenimiento.
- Realizarse acciones correctivas y modificativas dependiendo de su coste.

2.6.1. Distribución Exponencial.

Es el modelo más sencillo o simple de fiabilidad se caracteriza porque la tasa de fallos es constante. Este modelo se utiliza para predecir la fiabilidad en componentes eléctricos y electrónicos y se considera como modelo simplificado de la fiabilidad de un activo como primera aproximación. Su sencillez en la aplicación un amplio tratamiento matemático lo cual justifica su aceptación. Numerosas bases de datos ajustan sus datos a modelos exponenciales.

Los índices de fiabilidad para equipos que atienden la distribución exponencial vienen representados por las siguientes expresiones:

- Tiempo medio entre fallos

$$TMEF = \frac{1}{\lambda(t)} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

$$TMEF = \frac{\text{tiempo total de buen funcionamiento}}{\text{número total de fallos}} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

- Fiabilidad

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

- Infiabilidad

$$F(t) = 1 - R(t) \quad \text{Ecuación 4-2}$$

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

- Densidad de probabilidad de fallo

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \text{Ecuación 5-2}$$

- Fiabilidad en función del TMEF

$$R(TMEF) = e^{\frac{-t}{TMEF}} \quad \text{Ecuación 6-2}$$

2.6.2. Distribución de Weibull.

La distribución de Weibull radica en que es muy manejable, pues la ley tiene tres zonas (infancia o rodaje, madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera o de Davies.

Según (Mora, 2012, pg. 112) la distribución de Weibull tiene en su forma general tres parámetros, lo que le dan una gran flexibilidad y ajuste que con otras distribuciones estos parámetros son:

- Parámetro de posición Gamma (γ): el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula. (Forcadas, 1983).
- Parámetro de escala o característica de vida útil Eta (η): su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o de sistema. Entre mayor o alto es los activos pueden ser más robustos o de trabajos de mayor duración.
- Parámetro de forma (β): refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución.

El parámetro Beta permite a la distribución de Weibull tomar diversas formas, cuando β es inferior a 1 se le designa a esta fase como mortalidad infantil (tasa de fallo decreciente); cuando toma valores cercanos a 1 se describe a la fase con el nombre de vida útil (tasa de fallo constante y aleatoria), y en el evento de β toma valores mayores a 1 se conoce con el nombre de fase de envejecimiento o de desgaste (tasa de fallo creciente). (Díaz, 1992).

Tabla 1-2: Parámetro de forma β de Weibull

Valor (b)	Características
$0 < \beta < 1$	Tasa de fallo decreciente
$\beta = 1$	Distribución exponencial
$1 < \beta < 2$	Tasa de fallo creciente, cóncava
$\beta = 2$	Distribución Rayleigh
$\beta > 2$	Tasa de fallo creciente, convexa
$3 \leq \beta \leq 4$	Tasa de fallo creciente se aproxima a la distribución normal; simétrica

Fuente: Mora, 2007a.

Realizado por: ARREGUI, César, 2016

2.6.2.1. Curvas características de la Distribución de Weibull.

– Función tasa de fallos $\lambda(t)$.

Según (Mora, 2014, pg. 113) la tasa de falla expresa la cantidad de averías o reparaciones por unidad de tiempo que ocurren en el tiempo en que se estudia un elemento, su modelo matemático se expresa de la siguiente manera:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} * \left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

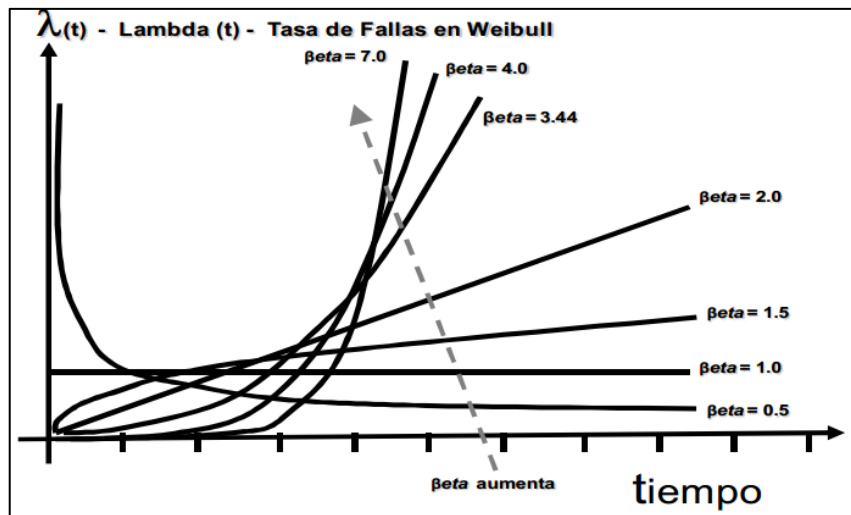


Figura 4-2. Tasa de fallos de la distribución de Weibull

Fuente: Mora, 2011

– 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:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación 8-2}$$

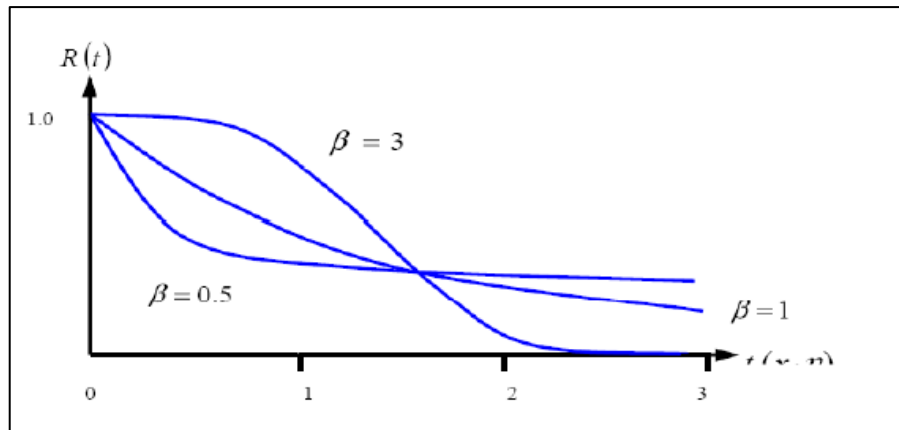


Figura 5-2. Fiabilidad de la distribución de Weibull

Fuente: Mora, 2011

- *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:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación 9-2}$$

- *Función densidad de probabilidad de fallo f(t).*

La función de densidad de probabilidad de falla o falla instantánea en el tiempo t representa normalmente la distribución de Weibull y se conoce a F(t) como función acumulativa de fallas describe la forma de la distribución de fallas con respecto al tiempo, se expresa de la siguiente manera:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} * \left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación 10-2}$$

Dónde:

β = Parámetro de forma

α = Vida característica

t = Tiempo en el cual se realiza el análisis

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

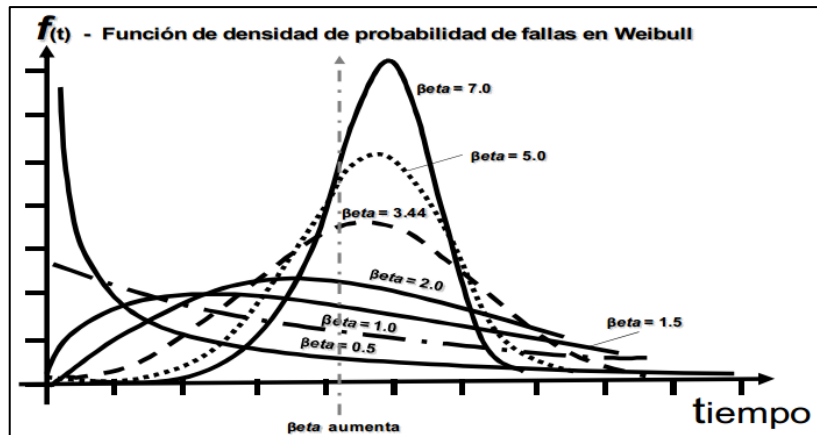


Figura 6-2. Densidad de la probabilidad de fallo de la distribución de Weibull

Fuente: Mora, 2011

– *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:

$$TMEF = A * \alpha + t_0 \quad \text{Ecuación 11-2}$$

En donde:

A= constante que depende de β por tablas

t_0 = Tiempo inicial, que para este caso es 0

2.6.3. Método gráfico de papel de Weibull o Allen - Plait

Uno de los problemas fundamentales de la distribución de Weibull es la evaluación de los parámetros (β , α) de esta distribución. Para ello se dispone de dos métodos: a través del cálculo mediante el método de los momentos o el de la máxima verosimilitud, en el que intervienen ecuaciones diferenciales difíciles de resolver, por lo que se utilizan poco, y mediante la

resolución gráfica que utiliza un papel a escala funcional llamado papel de Weibull o gráfico de Allen Plait, que es el que se va a utilizar.

Según Mora (2012, p. 112), el procedimiento consiste en graficar los valores de la función acumulativa de fallos $F(t)$ en el eje Y, con sus respectivos tiempos de fallo t en el eje X. La forma que posee el papel de Weibull permite confrontar una línea recta, a partir de la cual se logra valorar tanto la pendiente como la intersección de la misma con el eje Y vertical; y a partir de estos dos valores se pueden obtener los parámetros propios de la función de Weibull. Beta, Eta, etc.

2.6.3.1. Resolución gráfica del papel de Weibull

El papel de Weibull está graduado a escala funcional de la siguiente forma:

- En el eje de ordenadas Y se tiene: $\ln \ln \left[\frac{1}{1-F(t)} \right]$ *doble logaritmo neperiano*
- En el eje de abscisas X, tenemos: $\ln(t - t_0)$

Cálculo de β es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta. Para poder calcularlo se hace pasar una recta paralela a la recta obtenida con la representación gráfica de los valores o datos de partida por el punto 1 de abscisas y 63,2 de ordenadas pudiéndose leer concisa y directamente el valor de β en una escala tabulada de 0 a 7.

Cálculo de α es el parámetro de vida característica o útil y su valor viene dado por la intersección de la recta trazada con la línea paralela al eje de abscisas correspondiente al 63,2% de los fallos acumulados.

2.6.4. Software para análisis de fiabilidad.

Para determinar los parámetros e índices de fiabilidad en la distribución de Weibull en base al análisis estadístico de los tiempos de falla (tiempos operativos) hay disponibles varias herramientas entre las que podemos señalar: FIASOFT, RELIASOFT, MINITAB, RELEX.

2.6.4.1. Software a utilizarse: [Fiasoft] Versión 1.0.0

El software “FIASOFT”, ofrece un conjunto de herramientas para el análisis de fiabilidad, genera gráficas y determina los índices de fiabilidad en las unidades y sistemas por medio de un modelo estadístico de probabilidad de Weibull a partir de los tiempos entre fallos obtenidos de los historiales de las unidades de reinyección de agua.

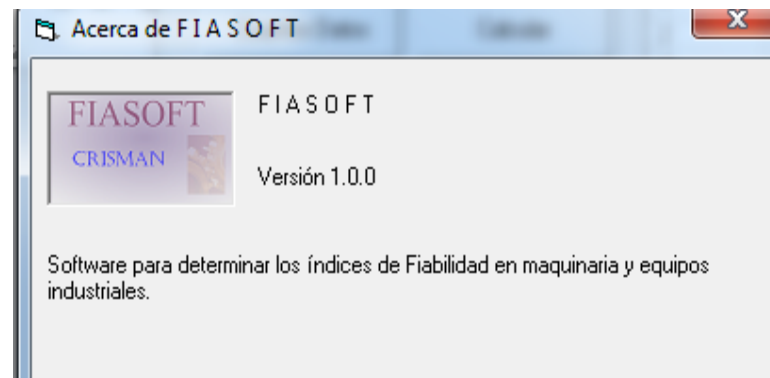


Figura 7-2. Software FIASOFT

Fuente: Software Fiasoft

Fiasoft versión 1.0.0 nos muestra las gráficas de los índices de fiabilidad como lo son:

- Tasa de fallas
- Parámetro de forma β
- Parámetro de vida característica α
- Densidad de probabilidad de fallas
- Fiabilidad
- Infiabilidad

Este programa está diseñado en Visual Basic 6.0, es de fácil uso e ingreso de datos y edición de los mismos.

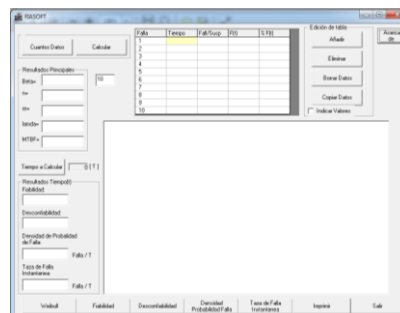


Figura 8-2. Software FIASOFT

Fuente: Software Fiasoft

Con los resultados obtenidos del programa Fiasoft versión 1.0.0, se establecerán los mejores criterios que determinara la propuesta para elaborar el plan de mantenimiento.

2.6.5. Fiabilidad de Sistemas.

El primordial objetivo de la fiabilidad de sistemas es la construcción de un modelo, que representa la fiabilidad del sistema calculado en función de la fiabilidad de los subsistemas, equipos o componentes que lo integren.

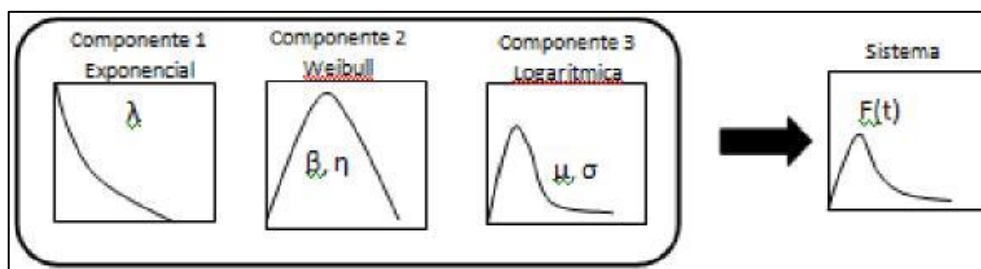


Figura 9-2. Fiabilidad del sistema en función de la fiabilidad de los componentes.

Fuente: Galván, 2011.

2.6.5.1. Sistemas en serie.

En fiabilidad un sistema que tiene una disposición serie, si el fallo en cualquiera de sus componentes provoca el fallo del sistema.



Figura 10-2. Topología de un sistema en serie.

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

La Fiabilidad $R_S(t)$ de un sistema serie en un instante de tiempo t , es el producto de las fiabilidades de cada componente en ese instante. Expresado matemáticamente se corresponde a:

$$R_S(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{Ecuación 12-2}$$

Algunas consideraciones sobre los sistemas con configuración serie son:

- La fiabilidad de un sistema se puede aumentar incrementando la fiabilidad de los bloques o aplicando redundancia mediante bloques en paralelo.

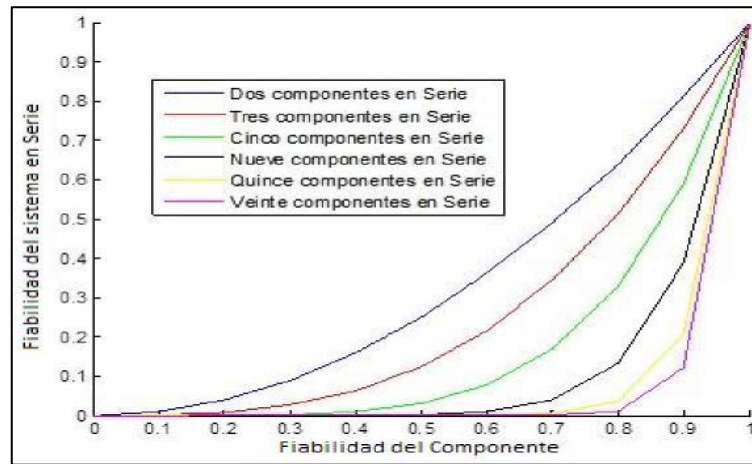


Figura 11-2. Efecto del número de componentes en serie sobre la fiabilidad del sistema.

Fuente: Galván, 2011.

2.6.5.2. *Sistemas en paralelo.*

La fiabilidad de un sistema paralelo, como el que se observa en la siguiente figura 12-2, es aquel en el que su funcionamiento es corrector si funciona correctamente uno de sus bloques. Este puede estar en modo de redundancia “activa” cuando todos los bloques están en funcionamiento simultáneamente, y en modo de redundancia “pasiva” cuando hay un solo bloque simultáneamente en funcionamiento, y al fallar este bloque es sustituido uno de los bloques que están en paralelo.

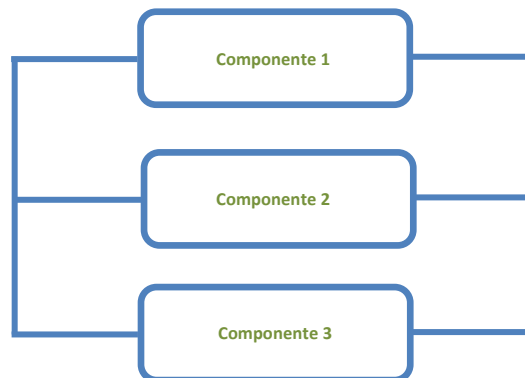


Figura 12-2. Topología de un sistema en paralelo

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

El sistema falla si fallan todos sus componentes, siendo la probabilidad de fallo del sistema $F_s(t)$, el producto de las probabilidades de fallo de todos sus componentes y la fiabilidad $R_s(t)$ viene expresada por la siguiente ecuación:

$$F_s(t) = F_1(t) \cdot \dots \cdot F_n(t) = [1 - R_1(t)] \cdot \dots \cdot [1 - R_n(t)] = \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad \text{Ecuación 13-2}$$

$$R_s(t) = 1 - F_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad \text{Ecuación 14-2}$$

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño de investigación (Métodos y materiales).

3.1.1. *Modalidades de investigación.*

El objetivo es plantear una estructura metodológica basada en la investigación bibliográfica documental para diseñar un plan de mantenimiento aplicado al sistema de bombeo de reinyección de agua del campo Auca. Se ha estructurado el plan de mantenimiento en base al análisis de la función tasa de fallos de los problemas detectados en el sistema de bombeo, para determina la relación mediante la información histórica recopilada de reportes, software de sistema de gestión y otros.

La investigación tiene un enfoque cualitativo basado en la metodología del análisis de fallas para determinar una mayor disponibilidad del sistema de bombeo de reinyección de agua, considerando que los fallos que se han venido presentando requieren de un análisis y conocer las causas que generan las ocurrencias de los mismos para lograr que disminuyan los mantenimientos correctivos, por consecuencia el proyecto tiene características particulares de carácter externo, normativo, explicativo y realista de acuerdo a las particularidades propias del objeto de investigación, en este caso el sistema de bombeo de reinyección de agua del campo Auca bloque 61 de la empresa Petroamazonas EP.

3.1.2. *Modalidades básicas de investigación.*

La modalidad que se utiliza, es la investigación de campo, se estudian los hechos en el lugar donde los mismos se están produciendo, es de carácter cuantitativo porque se utilizan procesos matemáticos y estadísticos para valorar los instrumentos de la investigación en el procesamiento de los resultados. La investigación promueve también la investigación bibliográfica-documental de los temas relacionados con el problema, descrito en el marco teórico.

La investigación es crítica propositiva porque plantea alternativas de solución frente a los fallos que se producen en el sistema de bombeo de reinyección de agua en el campo Auca bloque 61, además busca la esencia de esta problemática.

3.1.2.1. Bibliográfica documental.

La investigación tiene esta modalidad porque se acude a fuentes de información secundaria en libros, revistas especializadas, publicaciones, módulos, internet, es necesario acudir a fuentes primarias, obtenidas a través de documentos válidos y confiables que permitan ampliar, profundizar y deducir diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores, ésta se utiliza en el marco teórico, recopilando datos de diversos autores sobre conceptos que mantienen concordancia con las dos variables en estudio (fallas en función del tiempo).

3.1.2.2. De campo.

Se trabaja con la modalidad de campo porque el investigador acude al lugar donde se producen los hechos esto es en el campo Auca bloque 61 de la empresa Petroamazonas EP., en el área operativa del sistema reinyección de agua, lo cual es de gran ayuda para obtener elementos de juicio necesarios para intercambiar y recabar información de una realidad o contexto delimitado.

3.1.3. Tipo o niveles de investigación.

3.1.3.1. Investigación descriptiva.

Porque permite comparar los fenómenos o características del grupo al cual se investiga, según su comportamiento. Detalla las características más importantes del problema en una circunstancia temporal-espacial determinada, descubre las relaciones causa-efecto entre las variables.

El trabajo de investigación descriptiva permitirá detallar la descripción, el análisis, el registro y la interpretación de las fallas y condiciones actuales que presentan los equipos del sistema de reinyección de agua ocasionando pérdidas de tiempo, se utilizará esta investigación por cuanto la misma ayudará a señalar situaciones, eventos y actividades de una manera detallada y comparativa para estructurarla de manera adecuada.

3.1.3.2. *Investigación explicativa.*

Porque se puede estudiar teóricamente las causas del problema. Con la utilización de este tipo de investigación se explicará cuáles son los fallos que se han venido presentando en el sistema de reinyección de agua objeto de nuestro estudio.

3.1.3.3. *Investigación asociación de variables.*

Porque permite medir el grado de dependencia entre las variables con los mismos sujetos de un contexto determinado.

3.1.4. *Proceso de recolección de datos.*

3.1.4.1. *Información histórica.*

En base a la información histórica de reportes referente a las paradas y fallas que han presentado los equipos del sistema de bombeo de reinyección en los últimos años se ha analizado con el objetivo de examinar e investigar el comportamiento y la fiabilidad que ofrecen los mismos.

3.1.4.2. *Paquete de software Maximo Oil&Gas.*

Se utilizó para obtener información y registro de todas las órdenes de trabajo generadas para los diferentes tipos de mantenimiento de los equipos del sistema de reinyección de agua del campo Auca

3.2. Descripción general del sistema de bombeo de reinyección de agua

El campo Auca, es el de mayor producción del Bloque 61, ubicado en la zona centro, el mismo que posee un sistema de bombeo de reinyección de agua, siendo su función principal reinyectar agua de formación 11645 barriles de agua por día a una presión de 1850 libras por pulgada cuadrada (psi) hacia el pozo inyector Auca 55.

El sistema de bombeo de reinyección de agua de formación del Auca está compuesto por:

- Tanque de reposo
- Unidades de bombeo para el tratamiento químico
- Unidades centrífugas de transferencia
- Tanque de almacenamiento de agua de formación o tanque desnatador
- Unidades centrifugas boosters
- Filtros tipo strainer para el filtrado de agua
- Transformadores
- Variadores
- Unidades de reinyección de agua HPS (System Horizontal Pump)
- Sumidero

- Pozo de reinyección de agua

3.2.1. Descripción del contexto operacional de los equipos del sistema.

3.2.1.1. Tanque reposo.

El tanque de reposo es un equipo estático que forma parte de las facilidades del Auca Central, cuya función es recibir en un instante de tiempo todo el fluido multifásico que produce el campo alrededor de 24450 barriles de fluido por día, el mismo que nos ayuda a completar el proceso de deshidratación del crudo, es decir separa las fases de producción de petróleo en: agua de formación, crudo y gas.

El agua contenida en el crudo se separa en el tanque de reposo mediante gravedad o por decantación. Sin embargo, para evitar que el agua y el crudo formen emulsiones es necesario comenzar su tratamiento químico antes de que ingresen al tanque, esto se lo realiza mediante la inyección de químico demulsificante.

Por la diferencia de densidades el agua se deposita en la parte baja del tanque, permitiendo que el petróleo alcance el nivel más alto y rebose hasta el tanque de almacenamiento de crudo, cumpliendo con las especificaciones exigidas para ser transportados por el oleoducto Auca-Sacha.



Figura 1-3. *Tanque de reposo.*

Fuente: ARREGUI, César, 2016

3.2.1.2. Unidades de bombeo para el tratamiento químico.

Para el debido tratamiento del agua de formación se tiene dispuesto un sistema de inyección de químicos el cual consta de: tanque de almacenamiento, bombas para inyección de químicos y líneas de inyección.

- **Tanque de almacenamiento de químico:** cada producto químico tiene su tanque de almacenamiento debidamente identificado y señalizado, además constan de tomas para recepción, drenaje, mirillas de nivel y mirillas para determinar la dosificación. En sus soportes, cada tanque está conectado a tierra, de esta manera se evita que las descargas estáticas puedan causar ignición y/o explosión. El almacenamiento de los químicos se lo realiza en los tanques denominados (bulk drum) plásticos de 300 galones.



Figura 2-3. Tanque de almacenamiento de químico.

Fuente: ARREGUI, César, 2016

Los químicos que son almacenados en estos tanques son:

- | | |
|--|---------------|
| – Inhibidor de incrustación (antiescala) | T-47 |
| – Inhibidor de corrosión fase agua | CORRCONTROL C |
| – Biocida (GA) | BIOCIDA A |
- Inhibidor de incrustación (Antiescala): El químico antiescala evita la precipitación de carbonatos de calcio o de magnesio, los mismos que se forman por la variación de presión y temperatura que sufre el agua que produce un pozo petrolero. Se debe tener cuidado con la aplicación de antiescala debido a su PH y pueden producir corrosión en

los materiales. *Puntos de inyección:* succión bombas booster de transferencia de agua. Dosis 62 galones por día.

- Inhibidor de corrosión fase agua: este químico tiene la capacidad de separar mejor los sólidos que pueden existir en el agua de reinyección, además de evitar problemas de taponamiento de los filtros y disminuyendo el aceite residual en esta agua. *Puntos de inyección:* succión bombas Booster de transferencia de agua. Dosis 11 galones por día.
- Biocida GA: son químicos que contrarrestan a los microorganismos nocivos. Llamados también pesticidas, alguicidas o antimicrobianos. Además controla y reduce la corrosión. *Puntos de inyección:* succión bombas Booster de transferencia de agua. Dosis 32 galones por día.
- ***Bombas para inyección de químicos:*** se cuenta con bombas tipo pistón de doble cabezal, las mismas que son accionadas por medio de dos motores, de manera separada como se muestra en la siguiente figura:

Estas unidades para inyección de químicos están compuestas por:

- Motor eléctrico
- Bomba de pistón



Figura 3-3. Bomba para inyección de químicos.

Fuente: ARREGUI, César, 2016

Tabla 1-3: Ficha técnica de las bombas de inyección de químicos.

			SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO			CAMPO AUCA			
Especificaciones técnicas de la bomba de inyección de químicos 1									
<i>Motor Eléctrico 1</i>									
Marca	Listed	Modelo	GLX	Serie	W0608232270	Hp	¼	TAG PAM	MEL-0001
<i>Bomba de Pistón 1</i>									
Marca	Texsteam	Modelo	GLX	Serie	294217 01 003	Pistón	1/2;5/ 8 IN	TAG PAM	PPD-0376
Especificaciones técnicas de la bomba de inyección de químicos 2									
<i>Motor Eléctrico 2</i>									
Marca	Listed	Modelo	BU3048 93	Serie	W04042 20185	Hp	1/4	TAG PAM	MEL-2697
<i>Bomba de Pistón 2</i>									
Marca	Texsteam	Modelo	43152A MB01	Serie	381413 26 011	Pistón	1/2;1/2 IN	TAG PAM	PPD-0626

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016

3.2.1.3. Unidades centrífugas de transferencia.

Sirven para bombear 12500 barriles de agua de formación desde la estación del Auca Central hacia el tanque de almacenamiento que se encuentra en el pozo reinjector Auca 55 por medio de una línea de 6-5/8 de cedula SCH 80". Actualmente se disponen de dos bombas instaladas para este fin, dos de ellas de las mismas especificaciones técnicas trabajan en paralelo y una de las bombas permanece en stand by.

Estas unidades para transferencia de agua de formación están compuestas por:

- Motor eléctrico


– Bomba centrífuga



Figura 4-3. Unidades centrífugas de transferencia.

Fuente: ARREGUI, César, 2016

Tabla 2-3: Ficha técnica de las unidades centrífugas de transferencia

			SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO				CAMPO AUCA			
Especificaciones técnicas de las unidad centrífuga de transferencia 1										
<i>Motor Eléctrico 1</i>										
Marca	Emerson	Modelo	BS23A	Serie	N06-BS23A-M D09 019	Hp	100	TAG PAM	MEL- 3200	
<i>Bomba Centrífuga 1</i>										
Marca	Durco	Modelo	MARK3STD 2K4X3- 10RV/10.0	GPM	675	TAG PAM	PCF-0637			
Especificaciones técnicas de las unidad centrífuga de transferencia 2										
<i>Motor Eléctrico 2</i>										
Marca	Emerson	Modelo	DK20	Serie	S089001889- 0007M0001	Hp	100	TAG PAM	MEL- 3868	
<i>Bomba Centrífuga 2</i>										
Marca	Durco	Modelo	MARK3STD 2K4X3- 10RV/10.0	GPM	675	TAG PAM	PCF-0763			

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016

3.2.1.4. *Tanque de almacenamiento de agua de formación o tanque de desnatado.*

Este tanque tiene una capacidad de 3000 barriles, sirve para almacenar el agua de formación que llega desde el tanque de reposo en el cual se asientan restos de sólidos, arenas y limos en la parte inferior y las trazas de crudo en la parte superior para realizar el proceso de desnatado del crudo, es decir se retira el resto de crudo que tiene el agua y se envía hacia el sumidero.

El agua de formación que se halla en el interior del tanque tiene una turbidez de 60 NTU con un pH de 6,9 y una temperatura de 102 °F (38,88°C). Las condiciones de operación del tanque de almacenamiento constan de 3 niveles, bajo, alto y alto 2. En la línea de ingreso del tanque se tiene implementado filtros strainer para retener cualquier tipo de sólidos o impurezas que contenga el agua de formación.



Figura 5-3. Tanque de almacenamiento de agua de formación.

Fuente: ARREGUI, César, 2016

3.2.1.5. *Unidades centrifugas boosters.*

Se encargan de bombear el agua de formación desde el tanque de almacenamiento hacia el pulmón de succión de las unidades de reinyección de agua con una presión de descarga de 60 psi. Para encender las bombas boosters el tanque de almacenamiento debe tener un nivel de agua de formación de 6 ft, para evitar succionar sólidos que se encuentren en la parte inferior del tanque.



Figura 6-3. Unidades centrífugas boosters.

Fuente: ARREGUI, César, 2016

Actualmente se disponen de dos bombas instaladas para este fin, dos de ellas de las mismas especificaciones técnicas trabajan en paralelo y una de las bombas permanece en stand by. Estas unidades centrífugas booster están compuestas por:

- Motor eléctrico
- Bomba centrífuga

Tabla 3-3: Ficha técnica unidades centrífugas boosters.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO		CAMPO AUCA	
Especificaciones técnicas de la unidad centrífuga booster 1					
<i>Motor Eléctrico 1</i>					
Marca	Modelo	Serie	Hp	RPM	TAG PAM
Electric Motor	A14634	N11-A14634-M D07 001	40	1760	MEL-3359
<i>Bomba Centrífuga 1</i>					
Marca	Modelo		GPM	TAG PAM	
Durco	MKIII STD 2K4X3-13HHRV/12.38		900	PCF-0663	
Especificaciones técnicas de la unidad centrífuga booster 2					
<i>Motor Eléctrico 2</i>					
Marca	Modelo	Serie	Hp	RPM	TAG PAM
Electric Motor	A14634	N11-A14634-M D07 006	40	1760	MEL-3360

<i>Bomba Centrífuga 2</i>			
Marca	Modelo	GPM	TAG PAM
Durco	MK3 STD 2K4X3- 13HHRV/12.38	900	PCF-0664

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016

3.2.1.6. *Filtros tipo strainer para el filtrado de agua.*

Adicionalmente la línea de descarga de las bombas booster tiene dos porta filtros o strainer que contienen elementos filtrantes metálicos tipo canasta los cuales sirven para retener desechos sólidos y garantizar que el fluido que se transporte esté libre de impurezas o partículas suspendidas que podría tener el agua de formación.



Figura 7-3. Filtros tipo strainer para el filtrado de agua.

Fuente: ARREGUI, César, 2016

3.2.1.7. *Transformadores.*

Un transformador es un dispositivo en el cual el voltaje de un sistema de corriente alterna puede cambiarse. Consiste en un núcleo de acero rodeado por devanados de alambre aislado. Generalmente, tanto el núcleo como los devanados están inmersos en aceite que sirve de aislador y ayuda a enfriar el transformador.

Es aquel equipo que se encarga de cambiar el voltaje primario de la línea eléctrica por el voltaje requerido por el motor. Este componente se utiliza reducir el voltaje de la línea de 13.8 kV elevar el voltaje de la línea



Figura 8-3. Transformadores

Fuente: ARREGUI, César, 2016

3.2.1.8. Variadores (*Electrospeed GCS*).

Permiten arrancar los motores de las unidades de reinyección de agua HPS, reduciendo los esfuerzos en el eje de la bomba, protege el equipo de variaciones eléctricas. El Electrospeed GCS está clasificado como un inversor de voltaje variable. Este moderno controlador de frecuencia variable de AC está diseñado para todos los requerimientos de instalación, necesitando una fuente de frecuencia variable. Este opera directamente con VAC trifásico de 380 a 480 VAC a 50/60 Hertz.

3.2.1.9. Unidades de reinyección de agua HPS (*Sistema de bombeo horizontal*).

En la estación Auca Central se reinyecta diariamente 11700 barriles de agua por día. Actualmente se disponen de dos bombas instaladas para este fin, dos de ellas de las mismas especificaciones técnicas trabajan en paralelo y una de las bombas permanece en stand by.

El agua de formación a una presión de 60 psi ingresa a la línea de succión de la unidad de reinyección en donde se incrementa la presión hasta los 1800 psi para ser reinyectada hacia el pozo reinyector Auca 55.



Figura 9-3. Unidades de reinyección de agua HPS.

Fuente: ARREGUI, César, 2016

3.2.1.10. *Bomba del Sumidero.*

El sumidero consiste en cubeto de cemento bajo el piso de 2 metros ancho x 2 metros largo x 3 metros de profundidad el mismo que consta de una bomba centrífuga que sirve para el bombeo de aguas que se producen en el proceso de deshidratación del crudo que son transportadas hacia el sumidero mediante camión vacuum estas aguas son bombeadas al tanque de almacenamiento según la operación o para luego ser reinyectada.



Figura 10-3. Bomba del sumidero.

Fuente: ARREGUI, César, 2016

3.2.1.11. Pozo reinyector de agua RW-55.

Este pozo fue perforado con el objetivo de reinyectar el agua de formación producida por el Campo Auca.



Figura 11-3. Pozo reinyector de agua RW-55

Fuente: ARREGUI, César, 2016

3.3. Unidades de bombeo de reinyección de agua.

3.3.1. Identificación de los sistemas, subsistemas y componentes.

Las unidades de bombeo de reinyección de agua están compuestas por cuatro sistemas: motor eléctrico, cámara de empuje, bomba multietapas y sistema de protección y control.



Figura 12-3. Unidades de bombeo de reinyección de agua.

Fuente: ARREGUI, César, 2016

Estos a su vez están compuestos por subsistemas, elementos y componentes, las cuales se especifican a continuación:

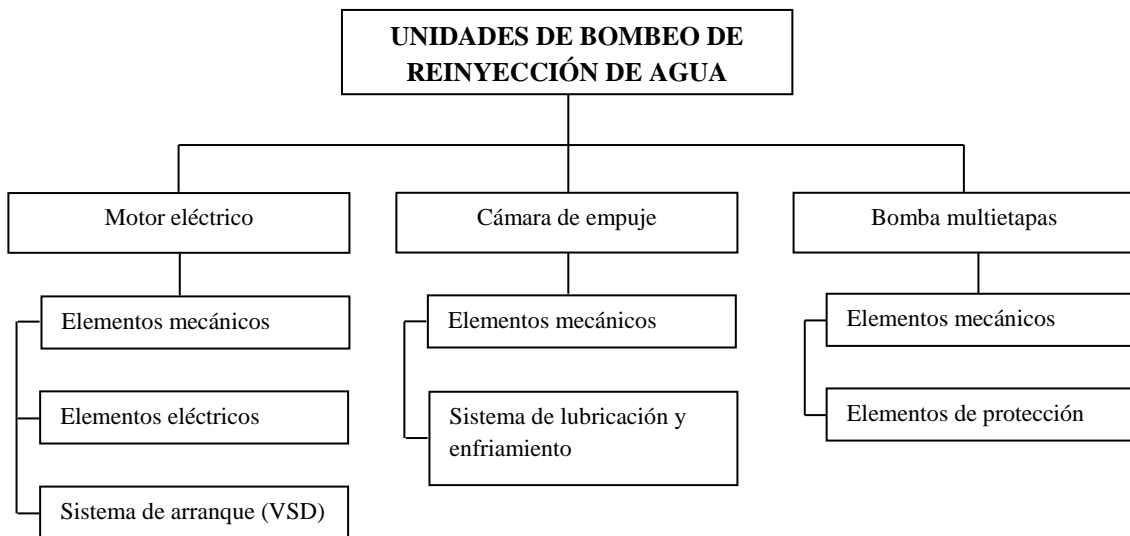


Figura 13-3. Unidades de bombeo de reinyección de agua.

Realizado por: ARREGUI, César, 2016

3.3.1.1. *Motor eléctrico.*

El motor eléctrico tiene la función de transformar la energía eléctrica en energía mecánica a través de la acción de los campos magnéticos generados entre sus bobinas. Es el que proporciona el torque al sistema.




Figura 14-3. Motor eléctrico.

Fuente: ARREGUI, César, 2016

– Ficha técnica de los motores eléctricos 1 y 2.


Tabla 4-3: Ficha técnica del motor eléctrico N°1.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO		CAMPO AUCA	
Especificaciones técnicas motor eléctrico n° 1					
Marca	Siemens Induction Motor	Serie	01201171-010-1	Tipo	CGII
H.P	700	Frame	508S	Amps.	84.6
Volts.	4160	R.P.M	3560	Hertz.	60
Duty	Cont.	Phase	3	TAG PAM	MEL-3245

Fuente: Archivo Petroamazonas EP.

Realizado por: ARREGUI, César, 2016

Tabla 5-3: Ficha técnica del motor eléctrico N° 2.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO		CAMPO AUCA	
Especificaciones técnicas motor eléctrico n° 2					
Marca	Siemens Induction Motor	Serie	01201171-010-2	Tipo	CGII
H.P	700	Frame	508S	Amps.	84.6
Volts.	4160	R.P.M	3560	Hertz.	60
Duty	Cont.	Phase	3	TAG PAM	MEL-3246

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016

3.3.1.2. Cámara de empuje.

Es un componente que tiene tres funciones principales: transmitir el torque del motor a la bomba, absorber las cargas generadas por la bomba y sellar el fluido de bombeo del ambiente. Utiliza una base modular para ser conectada a motores de diferente altura y está lubricada por aceite.




Figura 15-3. Cámara de empuje

Fuente: ARREGUI, César, 2016

La cámara de empuje está compuesta de carcasa, eje, rodamientos, sello del eje y sello mecánico para fluido. Cuenta con diferentes tipos de instrumentos para medir la vibración, el nivel de aceite y la temperatura.

– *Ficha técnica de la cámara de empuje.*

Tabla 6-3: Ficha técnica de la cámara de empuje N^o1.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO		CAMPO AUCA	
Especificaciones técnicas de la cámara de empuje N^o1					
Marca	BAKER HUGHES Centrilift	N° Serie	10409939	Modelo	HTC 1.XT
N° de Parte	C301325	TAG PAM	TCH-0010		

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016

Tabla 7-3: Ficha técnica de la cámara de empuje N^o2.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO		CAMPO AUCA	
Especificaciones técnicas de la cámara de empuje N^o2					
Equipo	Marca	Modelo	N° de Parte	N° Serie	TAG PAM
Cámara de Empuje 2	BAKER HUGHES Centrilift	HTC 1.XT	C301325	31X-16956	TCH-0075

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Elementos mecánicos.

Los elementos de la cámara de empuje son:

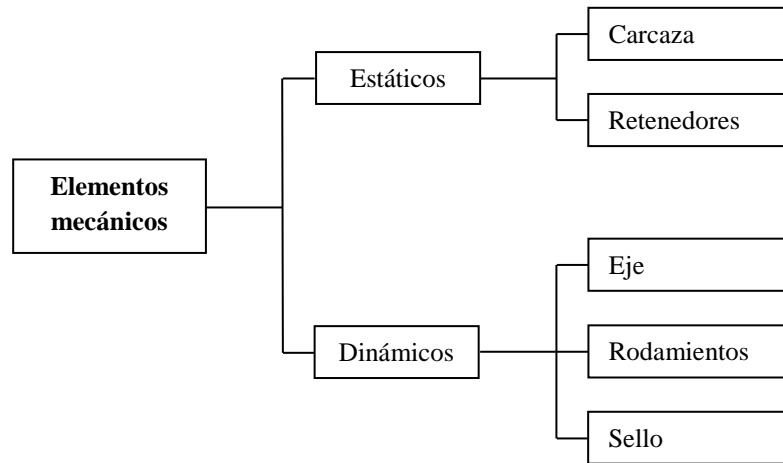


Figura 16-3. Unidades de bombeo de reinyección de agua.

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

- Sello mecánico: el cual ha sido diseñado para mantener el fluido a ser bombeado aislado del medio ambiente. Normalmente este sello es instalado en la cabeza de la cámara de empuje. Existen gran variedad de sellos y sistemas de limpieza y lavado de sellos. Las propiedades del fluido y condiciones de operación son las que indican que tipo de sello se debe utilizar.

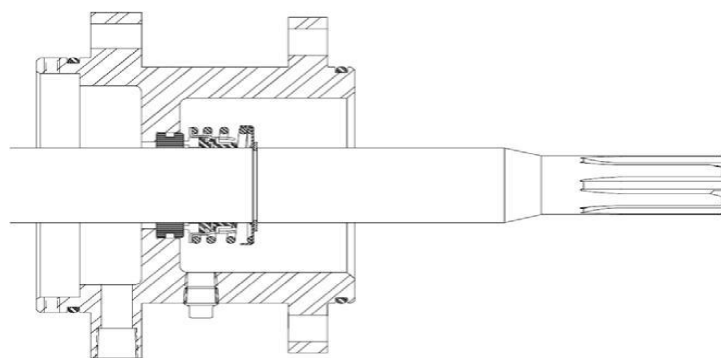


Figura 17-3. Sello mecánico

Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento de Baker Hughes

Sistema de lubricación y enfriamiento.

Tiene como función principal la lubricación del eje y los rodamientos que se encuentran en el interior de la cámara de empuje. Está compuesto por los siguientes elementos:

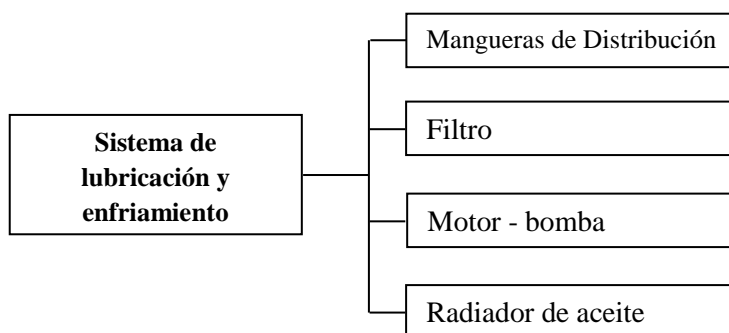



Figura 18-3 Unidades de bombeo de reinyección de agua.

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.


Tabla 8-3: Ficha técnica del motor del sistema de lubricación de la cámara de empuje 1.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO				CAMPO AUCA	
Especificaciones técnicas del motor de enfriamiento							
Marca	LISTED	VOLTS	115/28	RPMS	1725	HERTZ	60
Hp	HP.25	AMPS	5/2.6	TAG PAM	MEL-3181		
Equipo	Marca	Hp	VOLTS	AMPS	RPMS	HERTZ	TAG PAM
Motor-Bomba de enfriamiento aceite 1	LISTED	0.25	115	5	1725	60	MEL-3181
Motor- Bomba Lubricación cámara 1	LISTED	1	110	12,8	1725	60	MEL-3182
Motor Eléctrico del Ventilador 1	LISTED	¼	115	5	1450	60	MEL-3183

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 9-3: Ficha técnica del motor del sistema de lubricación de la cámara de empuje 2.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO			CAMPO AUCA		
Especificaciones técnicas del motor de enfriamiento							
Equipo	Marca	Hp	VOLTS	AMPS	RPMS	HERTZ	TAG PAM
Motor-Bomba de enfriamiento aceite 2	LISTED	0.25	115	5	1725	60	MEL-3184
Motor- Bomba Lubricación cámara 2	LISTED	1	110	12,8	1725	60	MEL-3185
Motor Eléctrico del Ventilador 2	LISTED	1/4	115	5	1450	60	MEL-3186

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.3.1.3. Bomba multietapas

Es una bomba centrífuga que tiene multi-etapas instaladas horizontalmente, está compuesta por un housed o carcasa que es un elemento estático y por el bolted bowl o difusores que son un total de 61, que dan el caudal y la presión requerida al sistema de reinyección de agua. El diseño estándar tandem medio de la bomba entrega la altura de la elevación y el caudal.




Figura 19-3. Bomba multietapas

Fuente: ARREGUI, César, 2016

Ficha técnica de la bomba multietapas

Tabla 10-3: Ficha Técnica Bomba Multietapas 1.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO		CAMPO AUCA	
Especificaciones técnicas de la bomba multietapa 1					
Marca	BAKER HUGHES Centrilift	Modelo	HPMTS AR	N° Serie	01H-16674/01H-16710
Etapas	Etapa 1	Stage Type	32HC12500	TAG PAM	PCF-0916
	Etapa 2	Stage Type	29HC12500	TAG PAM	PCF-0937

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 11-3: Condiciones operativas de la bomba multietapas N°1.

Equipo instalado	Condiciones de Operación
Bomba: 61 HC-12500	Presión de Succión: 80 psig
Motor: 700 HP/4160/84.6 A	Presión de Descarga: 1785 psig
Cámara: 1.XT	Caudal: 12877 BPD
	Frecuencia: 53 HZ
Set points:	Presión de succión mínimo 40 psig
	Presión de descarga máximo 2250 psig

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

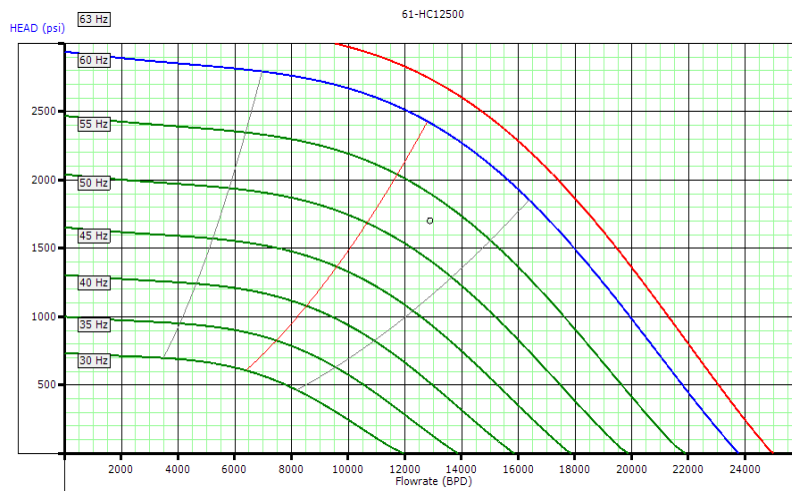



Figura 20-3. Curva de operación de la bomba multietapa N°1.

Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento de Baker Hughes

Tabla 12-3: Ficha técnica Bomba Multietapas 2.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO		CAMPO AUCA	
Especificaciones técnicas de la bomba multietapa 2					
Marca	BAKER HUGHES Centrilift	Modelo	HPMTS AR 1-4/ HPMTS AR 1-10	N° Serie	01H-16675/01H-16711
Etapas	Etapas 1	Stage Type	32HC12500	TAG PAM	PCF-0939
	Etapas 2	Stage Type	29HC12500	TAG PAM	PCF-0917

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 13-3: Condiciones operativas de la bomba multietapas N°2

Equipo instalado	Condiciones de Operación
Bomba: 61 HC-12500	Presión de Succión: 80 psig
Motor: 700 HP/4160/84.6 A	Presión de Descarga: 1785 psig
Cámara: 1.XT	Caudal: 12750BPD
	Frecuencia: 53 HZ
Set points:	Presión de succión mínimo 40 psig
	Presión de descarga máximo 2250 psig

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

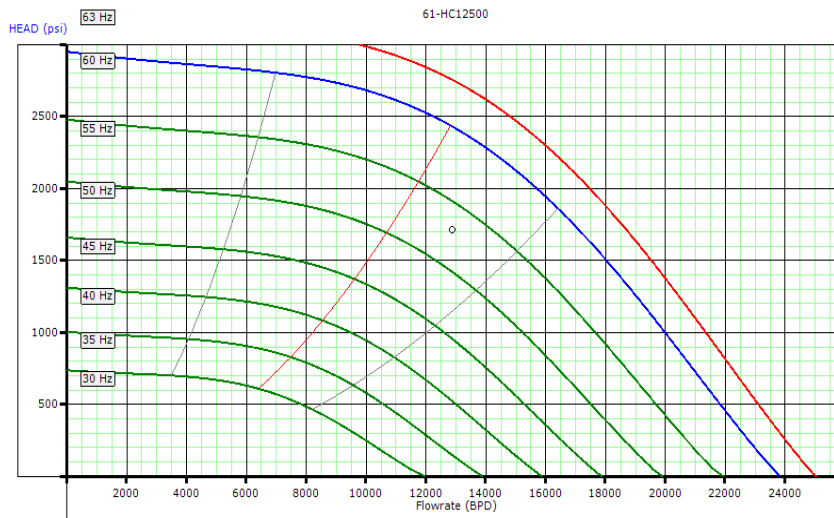


Figura 21-3. Curva de operación de la bomba multietapas N°2

Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento de Baker Hughes

Elementos mecánicos.

Los elementos mecánicos de la bomba multietapas son:

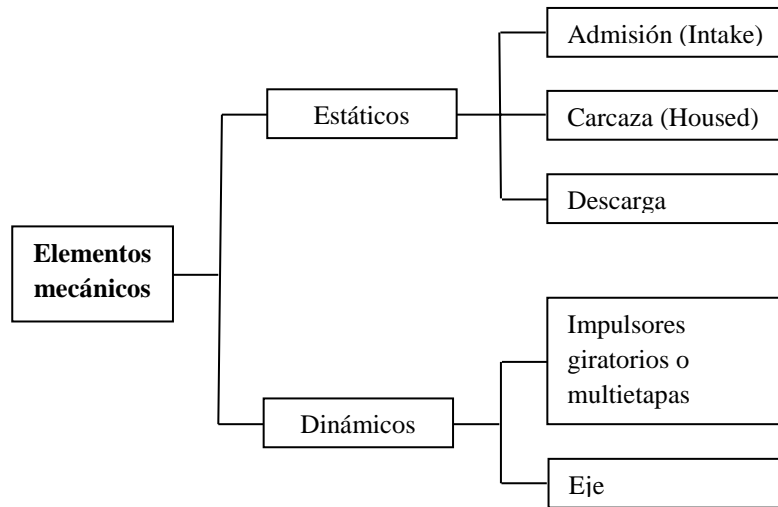


Figura 22-3. Unidades de bombeo de reinyección de agua.

Realizado por: ARREGUI, César, 2016

- Admisión (Intake): Adapta el suministro del sistema a la entrada de la bomba, es un componente que va emperrado a la bomba y a la cámara de empuje, su función es permitir la entrada de fluido a la bomba.

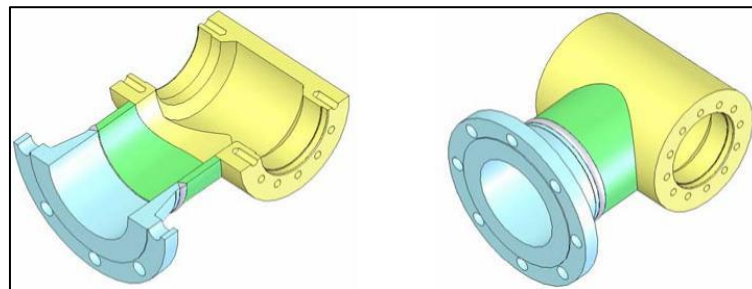


Figura 23-3. Admisión

Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento de Baker Hughes

- Carcaza (Housed): es un elemento estático que cubre y aloja las partes internas de la bomba como son el eje y los difusores. Sirve para contener el fluido que impulsan los difusores, su principal función es convertir la energía de velocidad impartida al fluido por el impulsor en energía de presión.

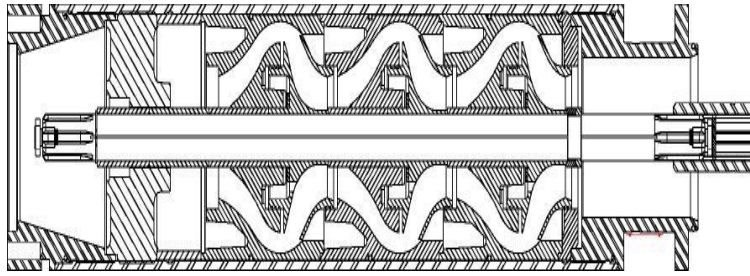


Figura 24-3. Carcaza

Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento de Baker Hughes

- Descarga: Adapta la salida de la bomba al suministro del sistema, es un elemento soldado el cual va empernado a la cabeza de la bomba, lleva el fluido de alta presión de la bomba a la línea de flujo.

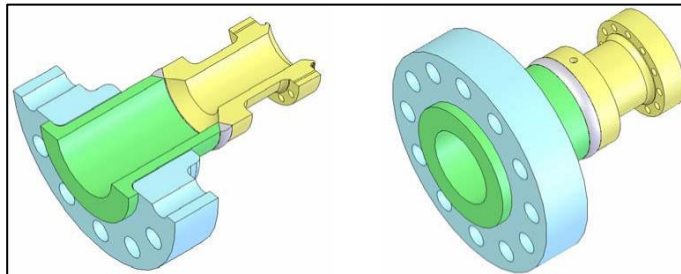


Figura 25-3. Descarga

Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento de Baker Hughes

Elementos de protección

La unidad de bombeo de reinyección cuenta con instrumentos de protección y control que son:

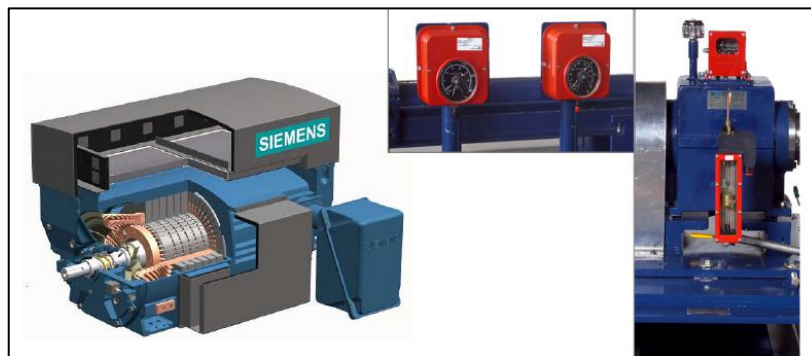


Figura 26-3. Equipos de instrumentación y control

Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento de Baker Hughes

- Switch de vibración.- instrumento de vibración de la HTC, modelo murphy VS2 al arrancar el equipo verificar que la vibración sea menor a 0.156 in/s.



Figura 27-3. Switch de vibración

Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento de Baker Hughes

- Switch de presión de succión.- instrumento estándar que indica la presión de admisión modelo murphy 45 APE. Punto de ajuste bajo justamente arriba del punto de cavitación de la bomba. Punto de ajuste alto máxima presión admisible del sello o de admisión, la que sea menor.
- Switch de presión de descarga.- instrumento estándar que indica la presión de descarga modelo murphy 45 APE. Punto de ajuste bajo presión a máximo flujo de la bomba. Punto de ajuste alto presión a mínimo flujo de la bomba.

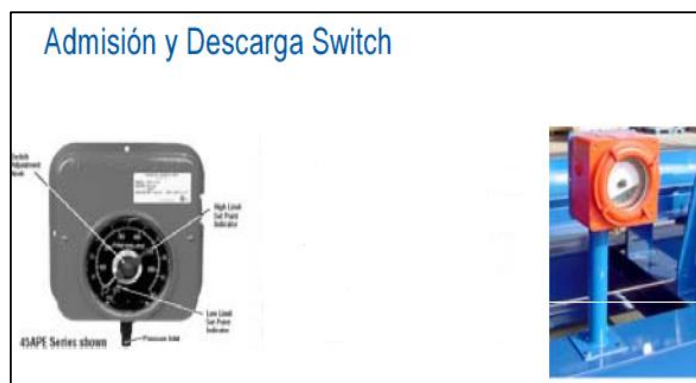


Figura 28-3. Admisión y descarga switch

Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento de Baker Hughes

- Switch de temperatura.- instrumento que indica la temperatura del aceite RDT (resistance temperature device) modelo therrmo sensors.



Figura 29-3. Equipos de instrumentación y control

Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento de Baker Hughes

3.4. Metodología utilizada para la estimación de los índices de fiabilidad.

3.4.1. Recolección de datos e historial de fallas.

Se ha empleado la técnica de recolección de datos de información histórica con los datos registrados en los HORIZONTAL REPORT proporcionado por la prestadora de servicio Baker Hughes (Ver Anexo), datos de las bitácoras de operaciones así como también de las órdenes de trabajo del Sistema de Gestión Máximo Oil&Gas que es un programa que permite el almacenamiento, modificación y extracción de la información en una base de datos, además de proporcionar herramientas para añadir, eliminar, modificar y analizar datos.



Figura 30-3. Sistema de gestión Máximo Oil&Gas

Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento de Baker Hughes

Además, el software establece estrategias de control y mejoras en el sistema de gestión de sus procesos direccionados a mantener la funcionalidad e integridad de activos maximizando la seguridad, confiabilidad, disponibilidad y ciclo de vida de sus activos, apoyando los objetivos de la operación y producción.

El sistema proporciona información de mantenimientos correctivos ingresados a través de una orden de trabajo (Work order) en la que se detalla la actividad a ejecutarse la misma que tiene la siguiente información:

- Descripción de la actividad
- Área
- Locación
- Código del equipo
- Identificación del activo
- Status
- Fecha
- Prioridad

En el Anexo V se encuentra el reporte generado del software Máximo Oil&Gas de todas las órdenes de trabajo realizadas de los mantenimientos ejecutados a las unidades del sistema de reinyección.

3.4.1.1. Consolidación de las fallas en las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS N° 1 y N° 2

Se considera que todas las actividades registradas en las siguientes tablas son por evento de falla. Las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS N° 1 y N° 2 del Campo Auca inician sus trabajos de operación en el año 2009, desde esa fecha hasta el año 2014 se han obtenido los datos de fallos que servirán para realizar nuestro análisis.

– Registro de fallas presentadas en el motor eléctrico de la unidad HPS N° 1.

A continuación se encontraran las fallas registradas en el motor eléctrico en donde se indica los MTTR y horas de funcionamiento.

Tabla 14-3: Registro de fallas en el motor eléctrico N° 1.

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
1	RYA	HPS	Motor eléctrico	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación.	Alta vibración	VIB	Se retira el acople falk del motor daño de estriado de acople se reemplaza acople de motor se realinea motor – cámara de empuje (reporte ver anexos)	28-jul-12 de 9:00 hasta 28-jul-12 a 12:00	3	6840
2	RYA	HPS	Motor eléctrico	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Ruido anormal durante la operación con carga	NOI	Rotura del ventilador del motor se reemplaza ventilador. Chequeo y realineamiento de base del motor (reporte ver anexos)	10-ago-12 de 12:00 hasta 10-ago-12 a 16:00	4	7220
3	RYA	HPS	Motor eléctrico	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración	VIB	Rotura de pata de motor por soldadura mecánica (Dato tomado de bitácora operaciones)	10-nov-13 de 18:00 hasta 10-nov-13 a 21:00	3	12600

Continúa....

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
4	RYA	HPS	Motor eléctrico	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración	VIB	Rodamientos defectuosos. Cambio de rodamientos del motor eléctrico (Dato tomado de bitácora operaciones)	15-dic-13 de 9:00 hasta 10-ene-14 a 09:00	720	17280

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

– Registro de fallas presentadas en la cámara de empuje N° 1 de la unidad HPS N° 1.

A continuación se encontraran las fallas registradas en la cámara de empuje en donde se indica los MTTR y horas de funcionamiento.

Tabla 15-3: Registro de fallas en la cámara de empuje N° 1.

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
1	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración	VIB	Soltura mecánica, rotura de perno de sujeción corrige con shims desnivel de base de la cámara y realiza la alineación de motor y cámara de empuje. (reporte ver anexos)	17-jul-12 de 8:00 hasta 17-jul-12 a 18:00	10	6120
2	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga de agua	ELP	Se cambió kit de o ring en la cámara de empuje. (Dato tomado de bitácora operaciones)	15-dic-13 de 10:00 hasta 15-dic-13 a 13:00	3	8640
3	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Sobrecalentamiento	OHE	Problemas con el sistema de enfriamiento alta temperatura de los rodamientos de la cámara, revisión del sistema enfriamiento (Dato tomado de bitácora operaciones)	17-abr-13 de 8:00 hasta 17-abr-13 a 10:00	2	10080
4	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga de aceite de la cámara	ELU	Se cambió el retenedor lado bomba de la cámara de empuje. (Dato tomado de bitácora operaciones)	14-dic-13 de 15:00 hasta 14-dic-13 a 18:00	3	12876

Continúa....

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
5	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga excesiva de agua por la parte del sello mecánico	ELP	Cambio del sello mecánico, la parte dinámica del sello tiene daño en el retenedor por alta presión. (Dato tomado de bitácora operaciones)	15-may-14 de 11:00 hasta 15-may-14 a 18:00	7	14760
6	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración	VIB	Desalineación, y chequeo del anclaje por desnivelación de la base de la cámara. Se procede a realizar reparación y realineación (Dato tomado de bitácora operaciones)	17-nov-14 a 09:18 hasta 17-nov-14 a 11:18	2	16920

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

– Registro de fallas presentadas en la bomba multietapas N° 1 de la unidad HPS N° 1

A continuación se encontraran las fallas registradas en la bomba multietapas en donde se indica los MTTR y horas de funcionamiento

Tabla 16-3: Registro de fallas en la bomba multietapas N° 1

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
1	RYA	HPS	Bombas multietapas	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración	VIB	Coupling entre cuerpo de la bomba con excesivo juego. Se procede a cambiar el coupling más alineación cámara de empuje-bomba multietapas. (reporte ver anexos)	04-feb-12 de 9:00 hasta 04-feb-12 a 13:00	4	5040
2	RYA	HPS	Bombas multietapas	No convierte energía cinética en potencial.	Adherencias impulsores de la bomba taponados.	PDE	Se evidencia obstrucción al libre giro de los impulsores. Desacoplamiento de los cuerpos de las bombas intake taponado con basura, platicos eje de bomba giro semiduro, se realizó un flusing con JP1. (Dato tomado de bitácora operaciones)	18-nov-12 a 8:30 hasta 19-nov-12 a 8:30	24	8280

Continúa....

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
3	RYA	HPS	Bombas multietapas	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Entrada de aire a la succión de la bomba	PDE	Se desacopla la línea de succión para verificar el paralelismo del en el intake ya que presenta entrada de aire en la succión de la bomba se modifica la línea de succión Luego de este trabajo se arranca la unidad por 1 hora. (Dato tomado de bitácora operaciones)	24-jul-14 a 15:00 hasta 10-ago-14 a 15:00	216	15480
4	RYA	HPS	Bombas multietapas	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Paro por alta vibración en cuerpo de bomba	VIB	Se chequea estado del skid se cambia grampa de sujeción se da torque a pernos se alinea bomba-cámara. (Dato tomado de bitácora operaciones)	27-dic-14 a 15:00 hasta 27-dic-14 a 18:00	3	17150

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

– **Registro de fallas presentadas en la instrumentación y control de la unidad HPS N° 1.**

A continuación se encontraran las fallas registradas en la instrumentación y control en donde se indica los MTTR y horas de funcionamiento.

Tabla 17-3: Registro de fallas de instrumentación y control unidad.

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) Horas	Horómetro
1	RYA	HPS	Sensor de presión Murphy	No arranca equipo	Falla del sensor Murphy de baja presión	SPO	Revisión calibración y pruebas de funcionalidad. (reporte ver anexos)	30-jul-11 de 15:00 hasta 30-jul-11 a 17:00	2	2570
2	RYA	HPS	Alarma de protección	No arranca equipo	Activación de las alarmas de protección	ERO	Chequeo y calibración de alarmas de succión y descarga. (reporte ver anexos)	17-feb-12 de 8:30 hasta 17-feb-12 a 9:30	1	5069
3	RYA	HPS	Alarma de protección	No arranca equipo	Señal errónea se activa la alarma de baja succión	ERO	La alarma se presentó por cuanto la presión baja a 0 psig falta de caudal en la línea, lo que provoco que se active la alarma. (reporte ver anexos)	19-oct-13 de 8:00 hasta 19-oct-13 a 10:00	2	12240
4	RYA	HPS	Sensor de presión Murphy	No arranca equipo	Falsa alarma del switch de nivel de aceite	ERO	Revisión y reparación del circuito del sensor por existir un falso contacto. (reporte ver anexos)	07-dic-14 de 13:00 hasta 07-dic-14 a 14:00	1	17090

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

– **Registro de fallas presentadas en el motor eléctrico de la unidad HPS N° 2.**

A continuación se encontraran las fallas registradas en el motor eléctrico en donde se indica los MTTR y horas de funcionamiento.

Tabla 18-3: Registro de fallas en el motor eléctrico N° 2

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
1	RYA	HPS	Motor eléctrico	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración	VIB	Se corrige una pata floja se revisa ajuste y se realinea motor-cámara. (reporte ver anexos)	16-ago-12 de 12:00 hasta 16-ago-12 a 15:00	3	7225
2	RYA	HPS	Motor eléctrico	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración	VIB	Chequeo del coupling se realiza el cambio de coupling por deformación, verificación alineación motor-cámara-bomba. (reporte ver anexos)	23-feb-14 de 15:00 hasta 23-feb-14 a 18:00	3	13670
3	RYA	HPS	Motor eléctrico	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Ruido anormal durante la operación con carga	NOI	Revisión y limpieza de la carcasa y cambio del ventilador. (Dato tomado de bitácora operaciones)	26-may-14 de 9:00 hasta 26-may-14 a 13:00	4	14789

Continúa....

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
4	RYA	HPS	Motor eléctrico	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración, ruido	VIB	Desconexión de motor para cambio de rodamientos. (Dato tomado de bitácora operaciones)	10-jun-14 de 7:30 hasta 18-jun-15 a 7:30	936	15111

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

– **Registro de fallas presentadas en la cámara de empuje de la unidad HPS N° 2.**

A continuación se encontraran las fallas registradas en la cámara de empuje en donde se indica los MTTR y horas de funcionamiento.

Tabla 19-3: Registro de fallas en la cámara de empuje N° 2

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) Horas	Horómetro
1	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta temperatura del aceite sistema de enfriamiento	OHE	Revisión del sistema de recirculación de aceite, corrección de fuga. (reporte ver anexos)	19-abr-12 de 8:00 hasta 19-abr-12 a 11:00	3	5766
2	RYA	HPS	Cámara de empuje	No transmite movimiento	Falla al arranque daño interno en la cámara, rotura de algún componente	BRD	Desmontaje para reparación mayor de la cámara de empuje con cambio de eje en talleres Baker. (reporte ver anexos)	25-jul-13 a 08:00 hasta 28-jul-13 a 08:00	72	11160
3	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga externa de aceite	ELU	Se realiza el cambio del kit del o ring. . (Dato tomado de bitácora operaciones)	13-feb-14 a 15:00 hasta 13-feb-14 a 18:00	3	13040

Continúa....

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) Horas	Horómetro
4	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Sobrecalentamiento del sistema de enfriamiento de la cámara	OHE	Se procede a revisión del sistema de enfriamiento de aceite incluye cambio de manguera de recirculación de aceite. . (Dato tomado de bitácora operaciones)	18-mar-14 de 16:00 hasta 18-mar-14 a 18:00	2	14010
5	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga de aceite	ELP	Daño de oring y retenedores relacionados por excesivo aceite (Dato tomado de bitácora operaciones)	26-jun-14 de 15:00 hasta 26-jun-14 a 18:00	3	15004

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

– Registro de fallas presentadas en la bomba multietapas de la unidad HPS N° 2

A continuación se encontraran las fallas registradas en la bomba multietapas en donde se indica los MTTR y horas de funcionamiento

Tabla 20-3: Registro de fallas en la bomba multietapas unidad N° 2

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
1	RYA	HPS	Bombas multietapas	No transmite movimiento	Parada por rotura del eje de la primera bomba	BRD	Se desacoplo el carrito de descarga presenta su giro duro sin desplazamiento axial del eje, se envía a talleres Baker para su reparación. (reporte ver anexos)	13-abr-12 de 8:00 hasta 01-ago-12 a 08:00	1440	5780
2	RYA	HPS	Bombas multietapas	No convierte energía cinética en potencial	Parámetro desviado, giro duro de eje de la bomba	PDE	Se procede a chequear la succión se coloca diesel para aflojar las etapas, posible atascamiento (reporte ver anexos)	01-dic-13 de 9:00 hasta 02-dic-13 a 09:00	24	8670
3	RYA	HPS	Bombas multietapas	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Ruido anormal en el coupling y los estriados de los ejes de las bombas	NOI	Se realizó el cambio de coupling y chequeo del juego axial y radial. (reporte ver anexos)	12-sep-13 de 8:00 hasta 12-sep-13 a 14:00	6	11880

Continúa....

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
4	RYA	HPS	Bombas multietapas	No eleva presión	Parámetro desviado, baja presión de descarga de la bomba	PDE	Se desacopla la línea de succión para verificar giro del eje se empaqueta cuerpo de la bomba con un tratamiento químico más JP1-Luego de este trabajo se arranca la unidad por 1 hora determinándose que el amperaje del display del arrancador es 88 A, y la placa del motor indica 84.6 A. (Dato tomado de bitácora operaciones)	24-sep-14 a 15:00 hasta 24-sep-14 a 15:00	216	13455
5	RYA	HPS	Bombas multietapas	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga de agua por intake de entrada	ELP	Se realiza el cambio de o ring de carrito de succión. (Dato tomado de bitácora operaciones)	16-dic-14 de 17:30 hasta 16-dic-14 a 19:30	2	15690

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

– **Registro de fallas presentadas en la instrumentación y control de la unidad HPS N° 2**

A continuación se encontraran las fallas registradas en la instrumentación y control en donde se indica los MTTR y horas de funcionamiento.

Tabla 21-3: Registro de fallas de instrumentación y control unidad N° 2

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
1	RYA	HPS	Sensor de presión Murphy	No arranca equipo	Presencia de alarma de baja succión	SPO	Se procede a realizar la limpieza de la cañería la misma que se encuentra taponada de crudo. (reporte ver anexos)	09-jun-12 de 11:00 hasta 09-jun-12 a 13:00	2	6488
2	RYA	HPS	Sensor de presión Murphy	No arranca equipo	Daño del sensor de presión de succión murphy	SPO	Se revisa el sensor y sus contactos internos se encuentran haciendo tierra por lo cual se cambia el sensor. (reporte ver anexos)	15-nov13 de 07:00 hasta 15-nov-13 a 09:00	2	12600
3	RYA	HPS	Alarma de protección	No arranca equipo	Activación de alarma alta vibración	ERO	Se procede a reemplazar el switch de vibración. (Dato tomado de bitácora operaciones)	23-may-14 de 8:30 hasta 23-may-14 a 12:30	4	14777
4	RYA	HPS	Sensor de nivel	No arranca equipo	Activación del sensor de nivel de aceite	SPO	Revisión y calibración del sensor de nivel de aceite. . (Dato tomado de bitácora operaciones)	20-jun-14 de 09:30 hasta 20-jun-14 a 10:30	1	15000

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5. Determinación de los tiempos de buen funcionamiento de las unidades.

Para determinar los tiempos de buen funcionamiento de las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS N° 1 y 2, se efectuó considerando los reportes de tiempos registrados en los HORIZONTAL REPORT se adjunta en los anexos, los datos tomados de las bitácoras por personal de operaciones y de las órdenes de trabajo de mantenimientos correctivos generados por el programa Maximo Oil&Gas, entre dos tiempos de fallos sucesivos. Por lo cual viene a ser una resta entre la hora de buen funcionamiento determinada por el horómetro y el tiempo que se demoró en la reparación de la falla.

Se han tomado las fallas de los cuatro (4) sistemas de las bombas de reinyección de agua: Sistema de potencia que es el motor eléctrico, Sistema de transmisión que es la cámara de empuje, el sistema de bombeo que viene a ser los cuerpos de las bombas multietapas y el sistema de instrumentación y control que viene a ser los sensores de protección e instrumentación de las unidades de reinyección de agua N° 1 y 2.

3.5.1. *Tiempos de buen funcionamiento del motor eléctrico de la unidad HPS N° 1*

A continuación se indica el tiempo de buen funcionamiento del motor eléctrico N°1 lo cual se obtiene restando las horas que indica el horómetro menos el tiempo que demora la reparación cuando se presenta una falla.

Tabla 22-3: Tiempos de buen funcionamiento del motor eléctrico N° 1.

Tiempos de buen funcionamiento motor eléctrico N° 1		
N° de fallas	TBF (tiempo de buen funcionamiento)	Ordenado (orden creciente)
1	6840	377
2	377	4681
3	5379	5379
4	4681	6840

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.1.1. Perfil de funcionalidad.

El estudio de la fiabilidad es el funcionamiento correcto, el opuesto de funcionamiento correcto es el fallo. Por tanto un componente o bien funciona correctamente o está en falla, es decir, puede encontrarse en los dos estados posibles: estado de funcionamiento la abreviación en ingles SOFU es “State of Functioning” y estado de fallo la abreviación en ingles SOFA “State of Failure”

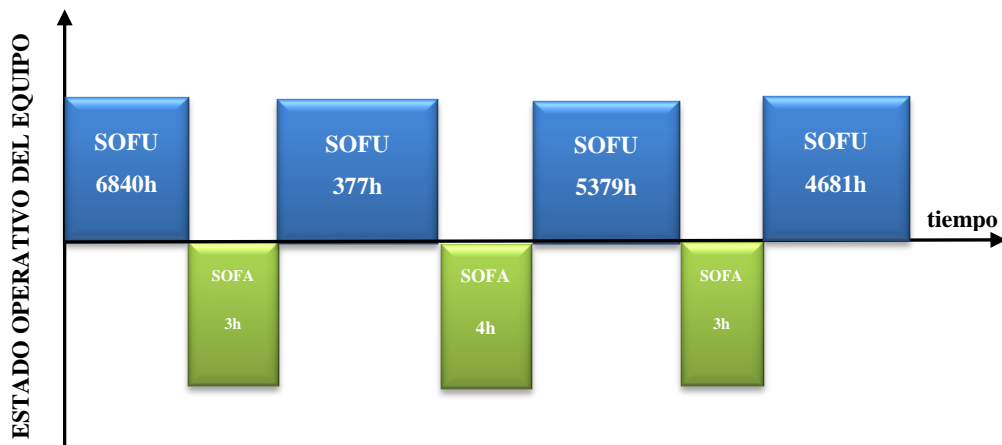


Figura 31-3. Diagrama de estado del motor eléctrico N° 1.

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.1.2. Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Weibull.

- Cálculo de los porcentajes acumulados para cada tiempo de falla.

Para este cálculo se utiliza el método de Bernard de aproximación de rango de medianas, para obtener los porcentajes acumulados para cada tiempo de falla, mediante la siguiente ecuación:

$$F(t) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad n \leq 20 \quad \text{Ecuación 1-3}$$

Donde:

i = posición de dato ordenado de menor a mayor

n = número total de datos

Tabla 23-3: Método de aproximación rango de medianas motor eléctrico N° 1.

i	t (h)	$F(t) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$	F(t) en %
1	377	0,159	15,90
2	4681	0,386	38,63
3	5379	0,613	61,36
4	6840	0,840	84,09

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

- Cálculo de los parámetros de fiabilidad del motor eléctrico N° 1.

Mediante el papel de Weibull se procede a graficar los valores de la función acumulativa de fallos $F(t)$ en el eje Y, con sus respectivos tiempos t en el eje X. La forma que posee este papel permite conformar una línea recta a partir de la cual se logra valorar tanto la pendiente como la intersección de la misma en el eje Y vertical, y a partir de estos dos valores, se obtienen los parámetros propios de la función Weibull β y α . Ver Anexo B.

De donde se obtiene:

$$\beta = 0,65$$

$$\alpha = 5600$$

Con este valor de β utilizamos la tabla de la ley de Weibull para determinar el parámetro A que se utilizará para calcular el tiempo medio entre fallas (TMEF) y demás índices de Weibull mediante las siguientes ecuaciones:

- Tiempo medio entre fallas (TMEF)

$$TMEF = A\alpha + t_0$$

Donde:

t_0 : Tiempo inicial que para nuestro caso es cero.

$$TMEF = 1,363 * 5600 + 0$$

$$TMEF = 7651,28 \text{ h}$$

- La fiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$R(7651,28) = e^{-\left(\frac{7651,28}{5600}\right)^{0,65}}$$

$$R(7651,28) = 0,2937 = 29,37\%$$

- La in fiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$F(t) = 1 - 0,2937$$

$$F(t) = 0,7062 = 70,62\%$$

- La tasa de fallos $\lambda(t)$ viene dada por la siguiente expresión:

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

$$\lambda(t) = \frac{0,65}{5600} \left(\frac{7651,28}{5600}\right)^{0,65-1}$$

$$\lambda(t) = 0,00010406 = 1,04 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

- La función de densidad de probabilidad de fallo viene dada por la siguiente expresión:

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

$$f(t) = \lambda \cdot R(t) = 0,00010406 * 0,2937$$

$$f(t) = 0,00003057 = 3,05 \times 10^{-5} \text{ 1/h}$$

3.5.2. *Tiempos de buen funcionamiento de la cámara de empuje de la unidad HPS*

Nº 1.

De la misma manera se realizó el cálculo de las horas de buen funcionamiento de la cámara de empuje Nº 1 y se ordena en orden creciente.

Tabla 24-3: Tiempos de buen funcionamiento de la cámara de empuje N° 1.

Tiempos de buen funcionamiento de la cámara de empuje de la HPS N° 1		
N° de eventos	TBF (tiempo de buen funcionamiento)	Ordenado (en orden creciente)
1	6120	1447
2	2510	1884
3	1447	2156
4	2796	2510
5	1884	2796
6	2156	6120

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.2.1. Perfil de funcionalidad.



Figura 32-3. Diagrama de estado cámara de empuje N° 1

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.2.2. Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Weibull.

- Cálculo de los porcentajes acumulados para cada tiempo de falla.

Tabla 25-3: Método de aproximación rango de medianas cámara de empuje N° 1.

I	t (h)	$F(t) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$	F(t) en %
1	1447	0,1093	10,93
2	1884	0,2656	26,56
3	2156	0,4218	42,18
4	2510	0,5781	57,81
5	2796	0,7343	73,43
6	6120	0,8906	89,06

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

- Cálculo de los parámetros de fiabilidad de la cámara de empuje N°1

Mediante el papel de Weibull se procede a graficar los valores de la función acumulativa de fallos F(t) en el eje Y, con sus respectivos tiempos t en el eje X. Ver Anexo B.

De donde se obtiene:

$$\beta = 1,67$$

$$\alpha = 3900$$

Con este valor de β utilizamos la tabla de la ley de Weibull para determinar el parámetro A que se utilizará para calcular el tiempo medio entre fallas (TMEF) y demás índices de Weibull mediante las siguientes ecuaciones:

- Tiempo medio entre fallas (TMEF)

$$TMEF = A\alpha + t_0$$

$$TMEF = 0,8934 * 3900 + 0$$

$$TMEF = 3484,26 \text{ h}$$

- La fiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$R(3484,26) = e^{-\left(\frac{3484,26}{3900}\right)^{1,67}}$$

$$R(3484,26) = 0,4367 = 43,67\%$$

- La in fiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$F(t) = 1 - 0,4367$$

$$F(t) = 0,5632 = 56,32\%$$

- La tasa de fallos $\lambda(t)$ viene dada por la siguiente expresión:3

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

$$\lambda(t) = \frac{1,67}{3900} \left(\frac{3484,26}{3900}\right)^{1,67-1}$$

$$\lambda(t) = 0,000397 = 3,97 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

- La función de densidad de probabilidad de fallo viene dada por la siguiente expresión:

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

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) = 0,000397 * 0,4367$$

$$f(t) = 0,0001734 = 1,73 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

3.5.3. *Tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas de la unidad HPS N° 1.*

De manera similar que los sistemas anteriores se calculan y se ordenan en forma creciente los tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas N° 1.

Tabla 26-3: Tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas.

Tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas		
N° de eventos	TBF (tiempo de buen funcionamiento)	Ordenado (en orden creciente)
1	5040	1478
2	3236	3236
3	7180	5040
4	1478	7180

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.3.1. Perfil de funcionalidad.

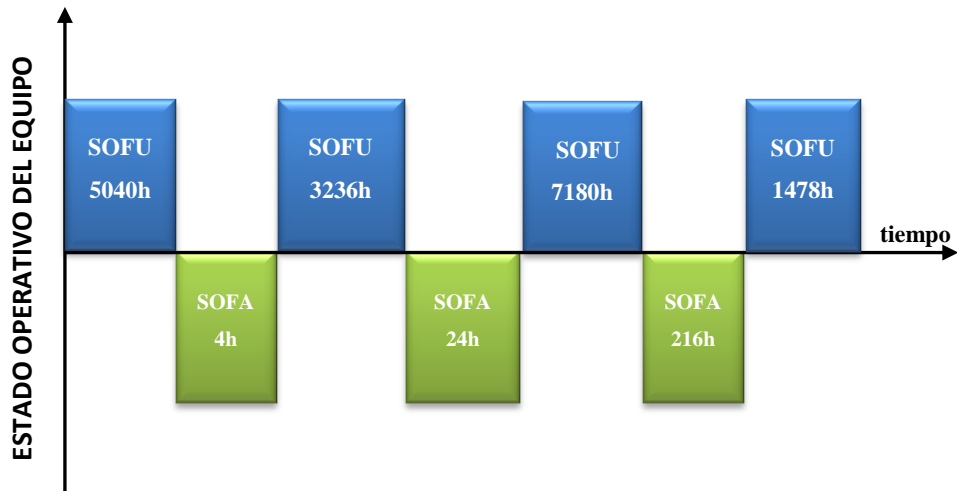


Figura 33-3. Diagrama de estado bomba multietapas N° 1

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.3.2. Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Weibull.

- Cálculo de los porcentajes acumulados para cada tiempo de falla.

Tabla 27-3: Método de aproximación rango de medianas de la bomba multietapas N° 1.

I	t (h)	$F(t) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$	F(t) en %
1	1478	0,159	15,90
2	3236	0,386	38,63
3	5040	0,613	61,36
4	7180	0,840	84,09

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

- Cálculo de los índices de fiabilidad de la bomba multietapas N° 1

Mediante el papel de Weibull se procede a graficar los valores de la función acumulativa de fallos $F(t)$ en el eje Y, con sus respectivos tiempos t en el eje X. Ver Anexo B.

Donde:

$$\beta = 1,4$$

$$\alpha = 5000$$

- Tiempo medio entre fallas (TMEF)

$$TMEF = A\alpha + t_0$$

$$TMEF = 0,9114 * 5000 + 0$$

$$TMEF = 4557 \text{ h}$$

- La fiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$R(4557) = e^{-\left(\frac{4557}{5000}\right)^{1,4}}$$

$$R(4557) = 0,4155 = 41,55\%$$

- La in fiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$F(t) = 1 - 0,4155$$

$$F(t) = 0,5844 = 58,44\%$$

- La tasa de fallos $\lambda(t)$ viene dada por la siguiente expresión:

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

$$\lambda(t) = \frac{1,4}{5000} \left(\frac{4557}{5000}\right)^{1,4-1}$$

$$\lambda(t) = 0,0002698 = 2,69 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

- La función de densidad de probabilidad de fallo viene dada por la siguiente expresión:

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

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) = 0,0002698 * 0,4155$$

$$f(t) = 0,0001121 = 1,12 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

3.5.4. *Tiempos de buen funcionamiento del sistema de instrumentación y control de la unidad HPS N° 1.*

Tabla 28-3: Tiempos de buen funcionamiento del sistema de instrumentación y control N°1.

Tiempos de buen funcionamiento de la instrumentación y control		
N° de eventos	TBF (tiempo de buen funcionamiento)	Ordenado (en orden creciente)
1	2570	2497
2	2497	2570
3	7172	4849
4	4849	7172

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.4.1. *Perfil de funcionalidad.*

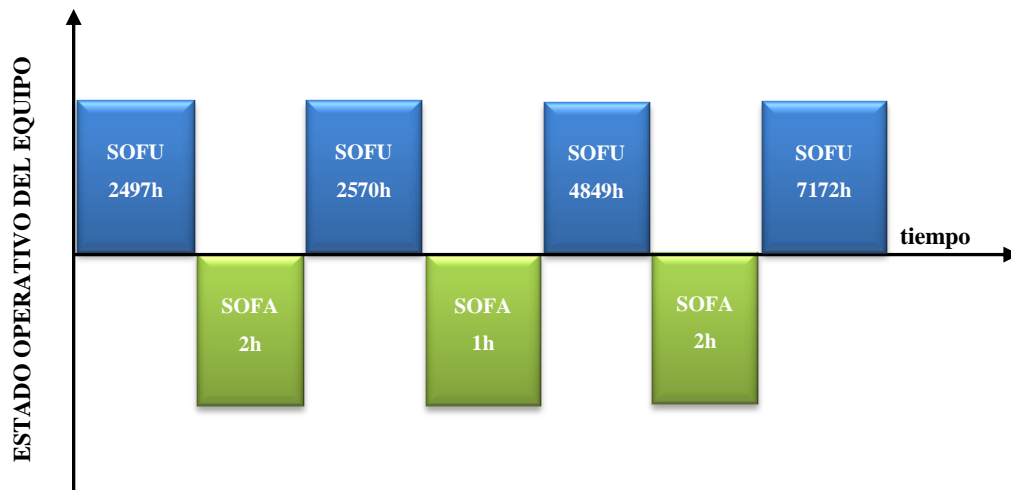


Figura 34-3. Diagrama de estado de la instrumentación y control N° 1.

Realizado por: César Arregui

3.5.4.2. *Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Exponencial.*

Tabla 29-3: Tiempos de buen funcionamiento

N° Fallas	Tiempo (h)
1	2497
2	2570
3	4849
4	7172

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

El cálculo de los índices de fiabilidad de los equipos de instrumentación y control de la unidad HPS N. 1 mediante la distribución exponencial vienen representados por las siguientes expresiones:

- Tiempo medio entre fallos

$$TMEF = \frac{\text{tiempo total de buen funcionamiento}}{\text{número total de fallos}}$$

$$TMEF = \frac{17088}{4}$$

$$TMEF = 4272 \text{ h}$$

- Tasa de fallos

$$\lambda(t) = \frac{1}{TMEF}$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{4272}$$

$$\lambda(t) = 0,000234 = 2,34 \times 10^{-4} [1/h]$$

- Fiabilidad

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

$$R(4272) = e^{-0,000234 \cdot 4272}$$

$$R(4272) = 0,3678 = 36,78\%$$

- Infiabilidad

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

$$F(t) = 1 - 0,3678$$

$$F(t) = 0,6321 = 63,21\%$$

- Densidad de probabilidad de fallo

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$f(t) = 0,000234 * e^{-0,000234 * 4272}$$

$$f(t) = 0,00008611 = 8,61 \times 10^{-5} \text{ 1/h}$$

3.5.5. Tiempos de buen funcionamiento del motor eléctrico de la unidad HPS N° 2

A continuación se indica el tiempo de buen funcionamiento del motor eléctrico N° 2 lo cual se calculó restando las horas que tenían cuando se presentaron las fallas, se ordena en forma creciente.

Tabla 30-3: Tiempos de buen funcionamiento del motor eléctrico N° 2

Tiempos de buen funcionamiento del motor eléctrico N° 2		
N° de eventos	TBF (tiempo de buen funcionamiento)	Ordenado (en orden creciente)
1	7225	321
2	6442	1119
3	1119	6442
4	321	7225

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.5.1. Perfil de funcionalidad

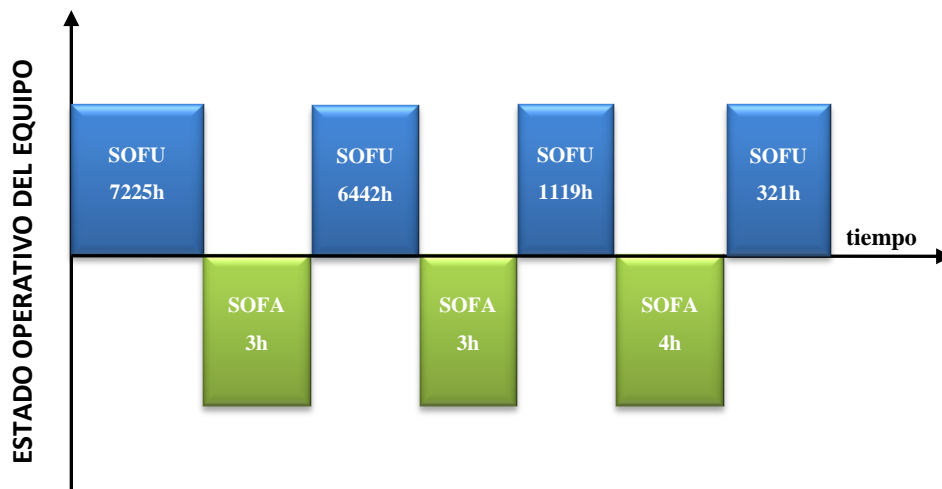


Figura 35-3. Diagrama de estado del motor eléctrico N° 2.

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.5.2. *Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Weibull*

- Cálculo de los porcentajes acumulados para cada tiempo de falla.

Tabla 31-3: Método de aproximación rango de medianas motor eléctrico N° 2

I	t (h)	$F(t) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$	F(t) en %
1	321	0,159	15,90
2	1119	0,386	38,63
3	6442	0,613	61,36
4	7225	0,840	84,09

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

- Cálculo de los parámetros de fiabilidad del motor eléctrico N° 2

Mediante el papel de Weibull se procede a graficar los valores de la función acumulativa de fallos F(t) en el eje Y, con sus respectivos tiempos t en el eje X. Ver Anexo B.

De donde se obtiene:

t_0 = tiempo inicial que para nuestro caso es cero.

$\beta = 0,67$

$\alpha = 4200$

Con este valor de β se emplea la tabla de la ley de Weibull para determinar el parámetro A que se utilizará para calcular el tiempo medio entre fallas (TMEF) y demás índices de Weibull mediante las siguientes ecuaciones:

- Tiempo medio entre fallas (TMEF)

$$TMEF = A\alpha + t_0$$

$$TMEF = 1,3253 * 4200 + 0$$

$$TMEF = 5566,26 \text{ h}$$

- La fiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$R(5566,26) = e^{-\left(\frac{5566,26}{4200}\right)^{0,67}}$$

$$R(5566,26) = 0,2988 = 29,88\%$$

- La in fiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$F(t) = 1 - 0,2988$$

$$F(t) = 0,7011 = 70,11\%$$

- La tasa de fallos $\lambda(t)$ viene dada por la siguiente expresión:

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

$$\lambda(t) = \frac{0,67}{4200} \left(\frac{5566,26}{4200}\right)^{0,67-1}$$

$$\lambda(t) = 0,0001453 = 1,453 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

- La función de densidad de probabilidad de fallo viene dada por la siguiente expresión:

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

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) = 0,0001453 * 0,2988$$

$$f(t) = 0,00004344 = 4,34 \times 10^{-5} \text{ 1/h}$$

3.5.6. *Tiempos de buen funcionamiento de la cámara de empuje de la unidad HPS N° 2.*

De la misma manera se realizó el cálculo del tiempo de buen funcionamiento de la cámara de empuje N° 2 y se ordena en orden creciente.

Tabla 32-3: Tiempos de buen funcionamiento de la cámara de empuje N° 2

Tiempos de buen funcionamiento de la cámara de empuje N° 2		
N° de eventos	TBF (tiempo de buen funcionamiento)	Ordenado (en orden creciente)
1	5766	995
2	5391	1039
3	1811	1811
4	1039	5391
5	995	5766

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.6.1. Perfil de funcionalidad.

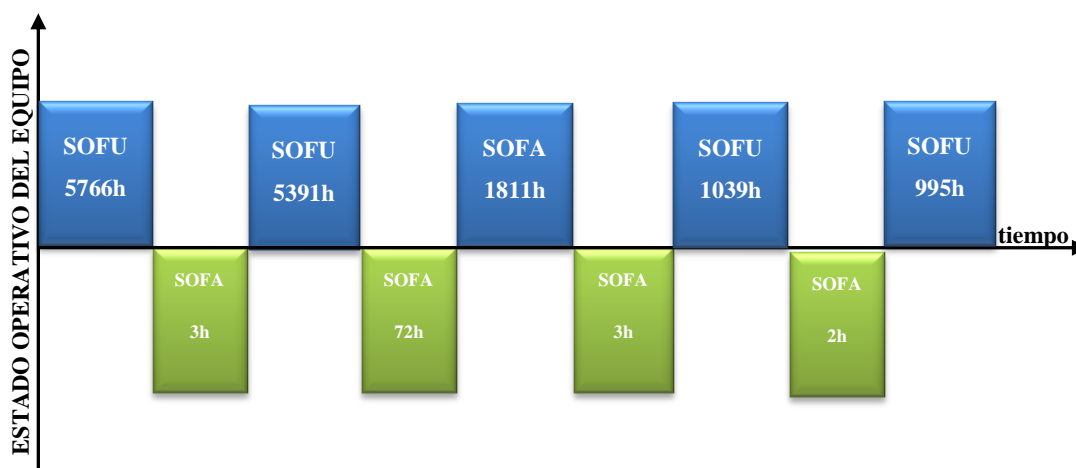


Figura 36-3. Diagrama de estado de la cámara de empuje N°2

Realizado por: ARREGUI, César, 2016

Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Weibull.

- Cálculo de los porcentajes acumulados para cada tiempo de falla.

Tabla 33-3: Método de aproximación rango de medianas cámara de empuje N°2

I	t (h)	$F(t) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$	F(t) en %
1	995	0,1296	12,96
2	1039	0,3148	31,48
3	1811	0,5	50,00
4	5391	0,6851	68,51
5	5766	0,8703	87,03

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

- Cálculo de los parámetros de fiabilidad de la cámara de empuje N° 2

Mediante el papel de Weibull se procede a graficar los valores de la función acumulativa de fallos F(t) en el eje Y, con sus respectivos tiempos t en el eje X. Ver Anexo B.

De donde se obtiene:

$$\beta = 1,10$$

$$\alpha = 3200$$

Con este valor de β utilizamos la tabla de la ley de Weibull para determinar el parámetro A que se utilizará para calcular el tiempo medio entre fallas (TMEF) y demás índices de Weibull mediante las siguientes ecuaciones:

- Tiempo medio entre fallas (TMEF)

$$TMEF = A\alpha + t_0$$

$$TMEF = 0,9649 * 3200 + 0$$

$$TMEF = 3087,68 \text{ h}$$

- La fiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$R(3087,68) = e^{-\left(\frac{3087,68}{3200}\right)^{1,10}}$$

$$R(3087,68) = 0,3823 = 38,23\%$$

- La infiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$F(t) = 1 - 0,3823$$

$$F(t) = 0,6176 = 61,76\%$$

- La tasa de fallos $\lambda(t)$ viene dada por la siguiente expresión:

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

$$\lambda(t) = \frac{1,1}{3200} \left(\frac{3087,68}{3200}\right)^{1,1-1}$$

$$\lambda(t) = 0,0003425 = 3,425 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

- La función de densidad de probabilidad de fallo viene dada por la siguiente expresión:

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

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) = 0,0003425 * 0,3823$$

$$f(t) = 0,0001309 = 1,13 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

3.5.7. *Tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas de la unidad HPS N° 2*

De manera similar que los sistemas anteriores se calculan y se ordenan en forma creciente los tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas de la unidad.

Tabla 34-3: Tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas N° 2

Tiempos de buen funcionamiento de la bomba multietapas N° 2		
N° de eventos	TBF (tiempo de buen funcionamiento)	Ordenado (en orden creciente)
1	5780	1450
2	1450	1593
3	4626	2025
4	1593	4626
5	2025	5780

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.7.1. Perfil de funcionalidad.

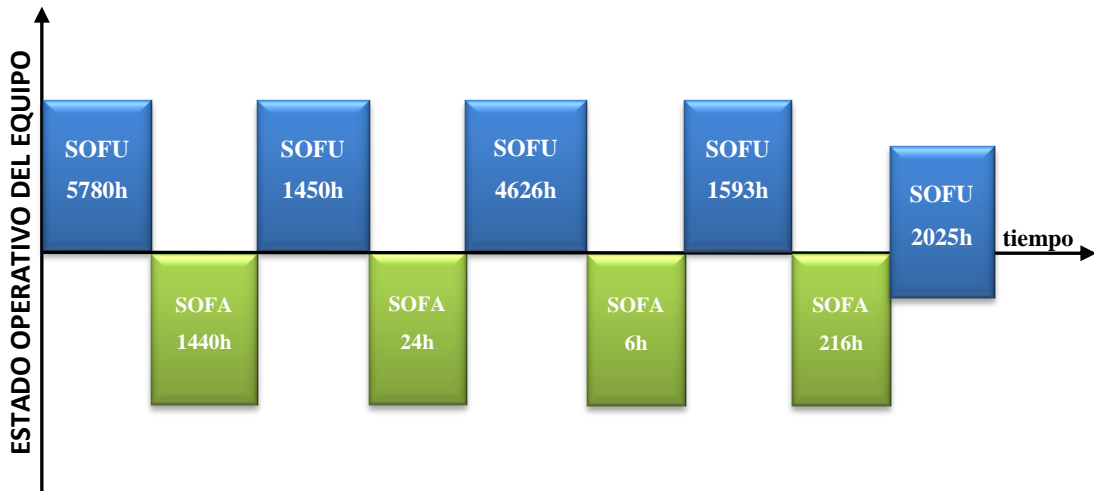


Figura 37-3. Diagrama de estado de la bomba multietapas N°2

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.7.2. Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Weibull.

- Cálculo de los porcentajes acumulados para cada tiempo de falla.

Tabla 35-3: Método de aproximación rango de medianas de la bomba multietapas N°2

I	t (h)	$F(t) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$	F(t) en %
1	1450	0,1296	12,96
2	1593	0,3148	31,48
3	2025	0,5	50
4	4626	0,6851	68,51
5	5780	0,8703	87,03

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

- Cálculo de los parámetros de fiabilidad de la bomba multietapas N° 2

Mediante el papel de Weibull se procede a graficar los valores de la función acumulativa de fallos $F(t)$ en el eje Y, con sus respectivos tiempos t en el eje X. Ver Anexo B.

De donde se obtiene:

$$\beta = 2,10$$

$$\alpha = 3600$$

Con este valor de β mediante la tabla de la ley de Weibull se determina el parámetro A que se utilizará para calcular el tiempo medio entre fallas (TMEF) y demás índices de Weibull mediante las siguientes ecuaciones:

- Tiempo medio entre fallas (TMEF)

$$TMEF = A\alpha + t_0$$

$$TMEF = 0,8857 * 3600 + 0$$

$$TMEF = 3188,52 \text{ h}$$

- La fiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$R(3188,52) = e^{-\left(\frac{3188,52}{3600}\right)^{2,1}}$$

$$R(3188,52) = 0,4607 = 46,07\%$$

- La in fiabilidad viene dada por la siguiente expresión:

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

$$F(t) = 1 - 0,4607$$

$$F(t) = 0,5392 = 53,92\%$$

- La tasa de fallos $\lambda(t)$ viene dada por la siguiente expresión:

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

$$\lambda(t) = \frac{2,1}{3600} \left(\frac{3188,52}{3600}\right)^{2,1-1}$$

$$\lambda(t) = 0,0005104 = 5,104 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

- La función de densidad de probabilidad de fallo viene dada por la siguiente expresión:

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

$$f(t) = \lambda(t).R(t) = 0,0005104 * 0,4607$$

$$f(t) = 0,000235 = 2,35 \times 10^{-4} \text{ 1/h}$$

3.5.8. Tiempos de buen funcionamiento del sistema de instrumentación y control de la unidad HPS N° 2.

Tabla 36-3: Tiempos de buen funcionamiento del sistema de instrumentación y control N°2

Tiempos de buen funcionamiento de la instrumentación y control		
N° de eventos	TBF (tiempo de buen funcionamiento)	Ordenado (en orden creciente)
1	6488	221
2	6110	2177
3	2177	6110
4	221	6488

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.5.8.1. Perfil de funcionalidad.



Figura 38-3. Diagrama de estado de la instrumentación y control N° 2

Realizado por: ARREGUI, César, 2016

3.5.8.2. *Procedimiento para el cálculo de los parámetros de fiabilidad mediante el modelo de distribución de Exponencial*

Tabla 37-3: Tiempos de buen funcionamiento

N° Fallas	Tiempo (h)
1	221
2	2177
3	6110
4	6488

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Cálculo de los índices de fiabilidad de los equipos de instrumentación y control de la unidad HPS N. 2 mediante la distribución exponencial vienen representados por las siguientes expresiones:

- Tiempo medio entre fallos

$$TMEF = \frac{\text{tiempo total de buen funcionamiento}}{\text{número total de fallos}}$$

$$TMEF = \frac{14996}{4}$$

$$TMEF = 3749 \text{ h}$$

- Tasa de fallos

$$\lambda(t) = \frac{1}{TMEF}$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{3749}$$

$$\lambda(t) = 0,000266 = 2,66 \times 10^{-4} [1/h]$$

- Fiabilidad

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

$$R(3749) = e^{-0,000266 \times 3749}$$

$$R(3749) = 0,3678 = 36,78\%$$

– Infiabilidad

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

$$F(t) = 1 - 0,3678$$

$$F(t) = 0,6321 = 63,21\%$$

– Densidad de probabilidad de fallo

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$f(t) = 0,000266e^{-0,000266*3749}$$

$$f(t) = 0,00009812 = 9,812 \times 10^{-5}$$

3.6. Determinar los parámetros e índices de fiabilidad aplicando el software Fiasoft.

Para la estimación de los respectivos parámetros de forma, de vida característica e índices de fiabilidad en los respectivos sistemas que poseen las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS N°1 y 2, se aplicará el software Fiasoft, mediante el cual se obtendrán gráficas que nos ayudarán a interpretar los índices de fiabilidad y como irán variando respecto al tiempo.

3.6.1. Motor eléctrico N°1.

La figura 39-3 muestran los datos de los tiempos de fallas ingresados al software en forma creciente obteniendo los valores de fiabilidad tanto en valores de porcentaje como en tanto por uno para cada tipo de falla producida en el motor eléctrico N° 1.

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	377,00	F	0,1591	15,91%
2	4.681,00	F	0,3864	38,64%
3	5.379,00	F	0,6136	61,36%
4	6.840,00	F	0,8409	84,09%

Figura 39-3. Cálculo de la función acumulativa de fallos F(t) del motor eléctrico N° 1

Fuente: Software Fiasoft

Para determinar los parámetros de forma y vida característica a través del software Fiatsoft el cual grafica los valores de los tiempos registrados para cada falla en el eje X y la función acumulativa de fallas F (t) en el eje Y. Como se muestra en la siguiente en la gráfica:

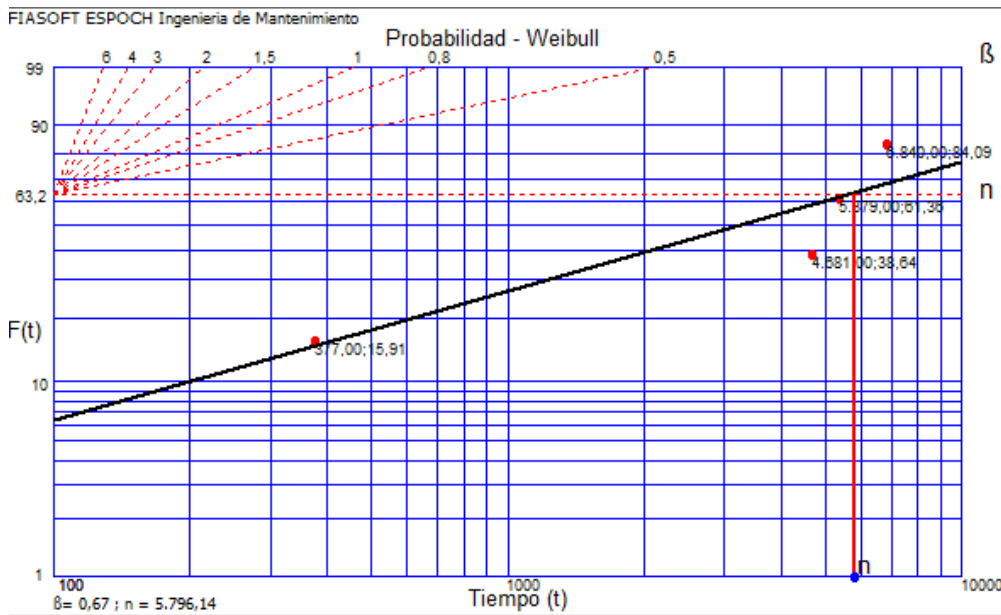


Figura 40-3. Probabilidad de Weibull motor eléctrico N° 1

Fuente: Software Fiasoft

El software Fiasoft nos ayuda a obtener el valor del parámetro de vida característica en el eje de las X que en este caso es el parámetro de vida característica $n=5796,14$ horas, también nos ayuda a obtener beta- parámetro de forma (β) la cual refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma de distribución la misma que viene a ser la pendiente de la recta y tiene un valor de 0,67. Estos valores se muestran en la Figura 41-3.

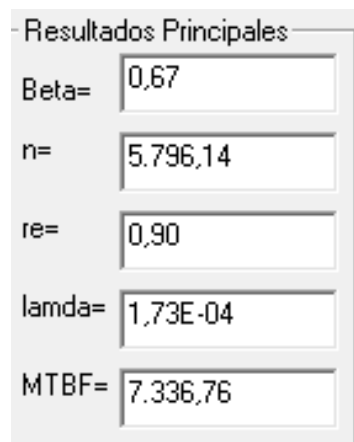


Figura 41-3. Parámetros de fiabilidad del motor eléctrico N° 1

Fuente: Software Fiasoft

En la figura 42-3 se representa la curva de la fiabilidad del motor eléctrico N° 1, en donde se puede observar que a medida que transcurre o aumenta el tiempo el valor de la fiabilidad disminuye o decrece, como se muestra a continuación.

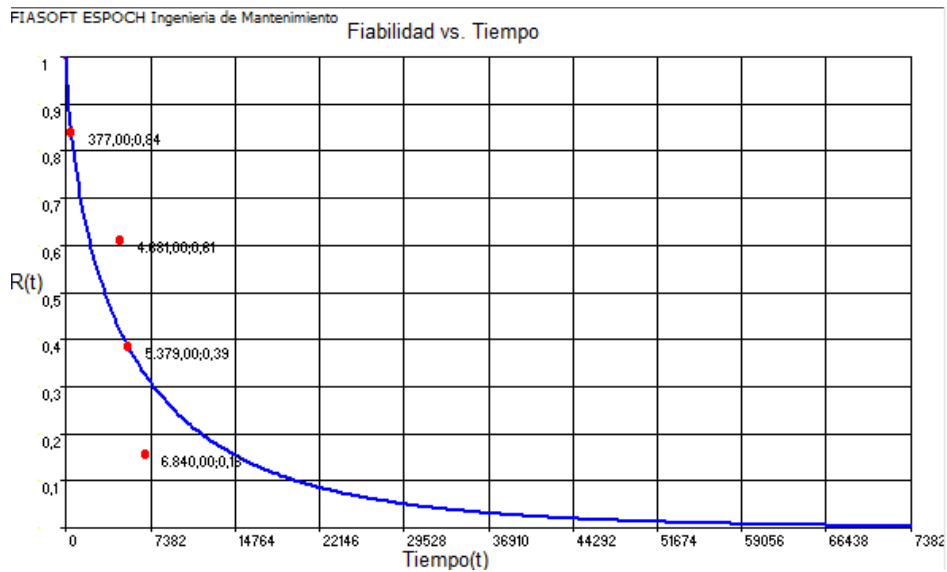


Figura 42-3. Fiabilidad vs. Tiempo en el motor eléctrico N° 1

Fuente: Software Fiasoft

La Figura 43-3 representa la distribución de la curva de la infiabilidad del motor eléctrico N° 1, en donde se puede observar que a medida que transcurre el tiempo el valor de la infiabilidad aumenta o crece.

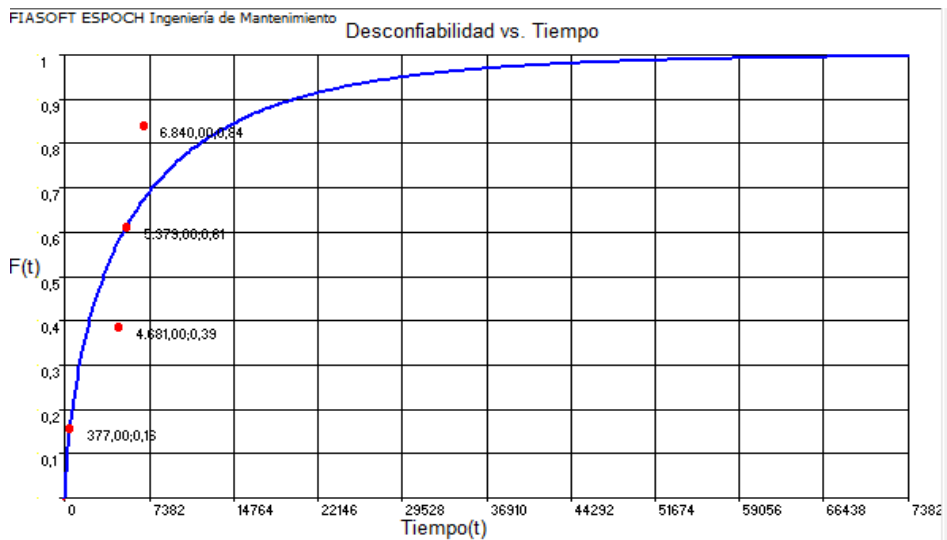


Figura 43-3. Infiabilidad vs. Tiempo en el motor eléctrico N° 1

Fuente: Software Fiasoft

La figura 44-3 representa la denominada función de densidad de probabilidad de fallas del motor eléctrico N° 1



Figura 44-3. Función de densidad de probabilidad de fallas del motor eléctrico N° 1
Fuente: Software Fiasoft

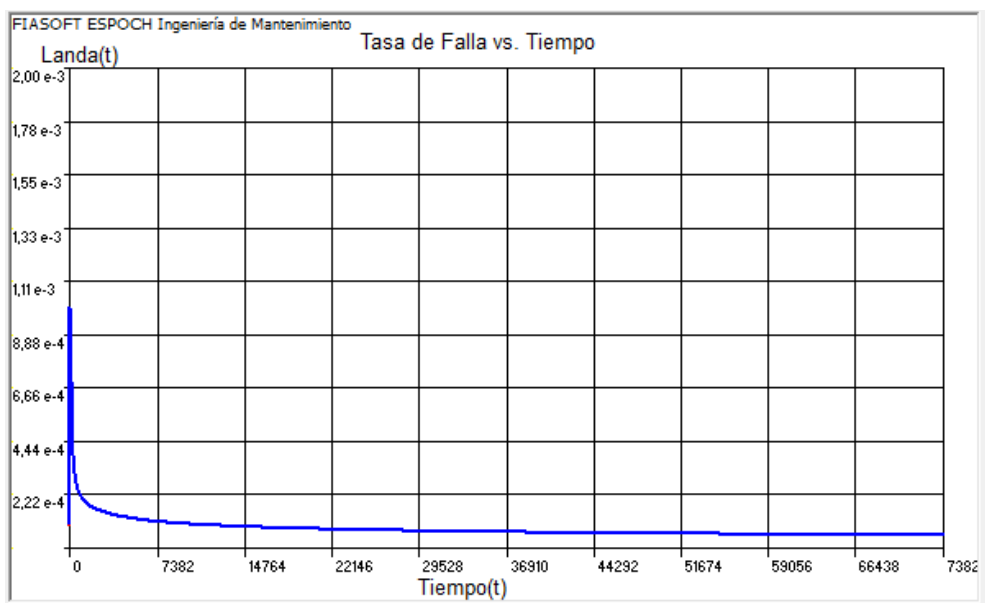


Figura 45-3. Tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo motor eléctrico N° 1.
Fuente: Software Fiasoft

Índices de fiabilidad.

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un tiempo de 7336,76 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione satisfactoriamente el sistema de potencia motor eléctrico N° 1 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la Figura 46-3.

Tiempo a Calcular:	7336,76 [T]
Resultados Tiempo(t)	
Fiabilidad:	31,00%
Desconfiabilidad:	69,00%
Densidad de Probabilidad de Falla:	3,32E-05 Falla / T
Taza de Falla Instantanea:	1,07E-04 Falla / T

Figura 46-3. Índices de fiabilidad para un tiempo de 7336,76 horas en el motor eléctrico N° 1

Fuente: Software Fiasoft

3.6.2. Cámara de empuje N°1.

En la figura 47-3 se muestran los datos de los tiempos entre fallos ingresados en forma ascendente lo cual indica los valores de fiabilidad tanto en valores de porcentaje como en tanto por uno para cada tipo de falla producida en la cámara de empuje N° 1.

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	‰ F(t)
1	1.447,00	F	0,1094	10,94%
2	1.884,00	F	0,2656	26,56%
3	2.156,00	F	0,4219	42,19%
4	2.510,00	F	0,5781	57,81%
5	2.796,00	F	0,7344	73,44%
6	6.120,00	F	0,8906	89,06%

Figura 47-3. Cálculo de la función acumulativa de fallos F(t) de la cámara de empuje N° 1

Fuente: Software Fiasoft

Para determinar los parámetros de forma y vida característica a través del software Fiasoft el cual grafica los valores de los tiempos registrados para cada falla en el eje X y la función acumulativa de fallas F (t) en el eje Y. Como se muestra en la siguiente en la figura 48-3.

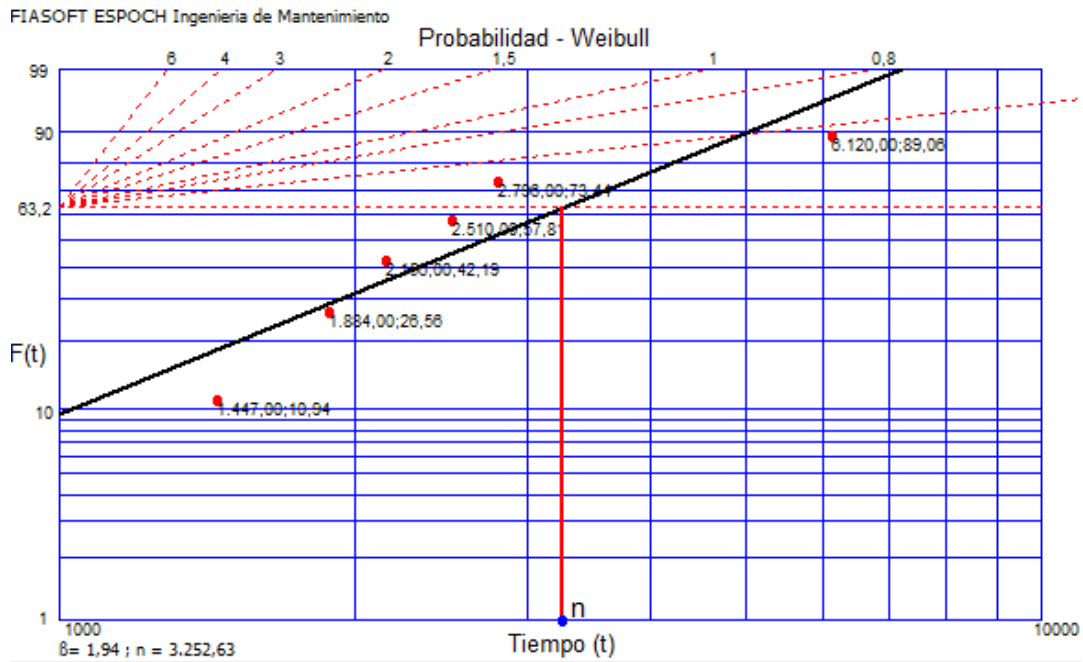


Figura 48-3. Probabilidad de Weibull sistema de transmisión cámara de empuje N° 1

Fuente: Software Fiasoft

El software Fiasoft nos ayuda a obtener el valor del parámetro de vida característica en el eje de las X para este caso el parámetro de vida característica $n=3252,63$ horas, también nos ayuda a obtener beta- parámetro de forma (β) la cual refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma de distribución t la misma que viene a ser la pendiente de la recta y tiene un valor de 1,94. Estos valores se muestran en la figura 49-3.

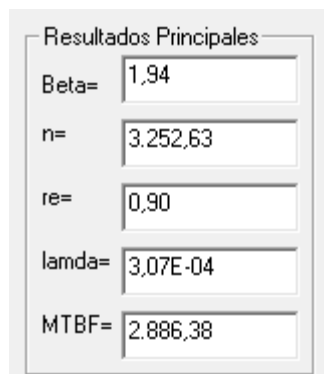


Figura 49-3. Parámetros de fiabilidad en la cámara de empuje N° 1

Fuente: Software Fiasoft

En la Figura 50-3 se representa la curva de la fiabilidad en el sistema de transmisión cámara de empuje N° 1, en donde se puede observar que a medida que transcurre o aumenta el tiempo el valor de la fiabilidad decrece, como se muestra a continuación:

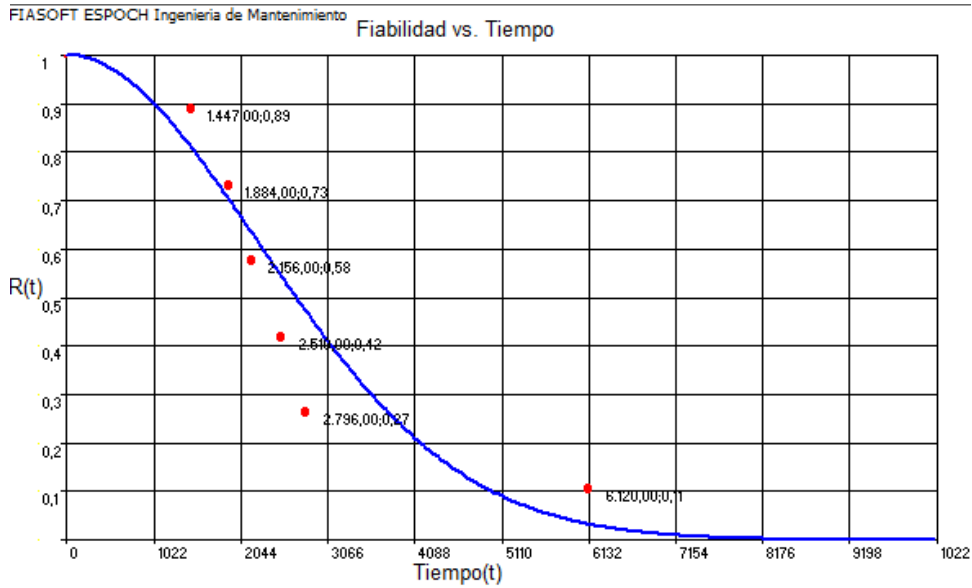


Figura 50-3. Fiabilidad vs. Tiempo en la cámara de empuje N° 1

Fuente: Software Fiasoft

La figura 51-3 representa la distribución de la curva de la infiabilidad en el sistema de transmisión cámara de empuje N° 1, en donde se puede observar que a medida que transcurre el tiempo el valor de la infiabilidad aumenta o crece.

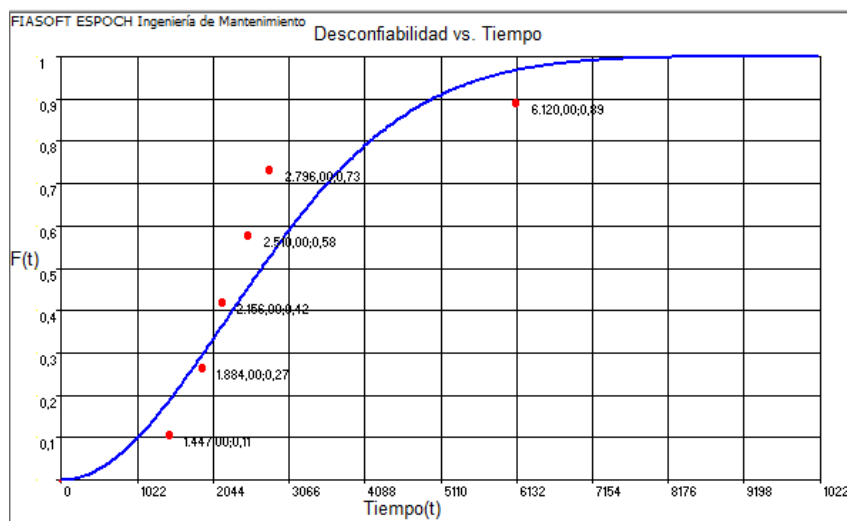


Figura 51-3. Infiabilidad vs. Tiempo en la cámara de empuje N° 1

Fuente: Software Fiasoft

La figura 52-3 representa la denominada función de densidad de probabilidad de fallas en el sistema de transmisión cámara de empuje N° 1.

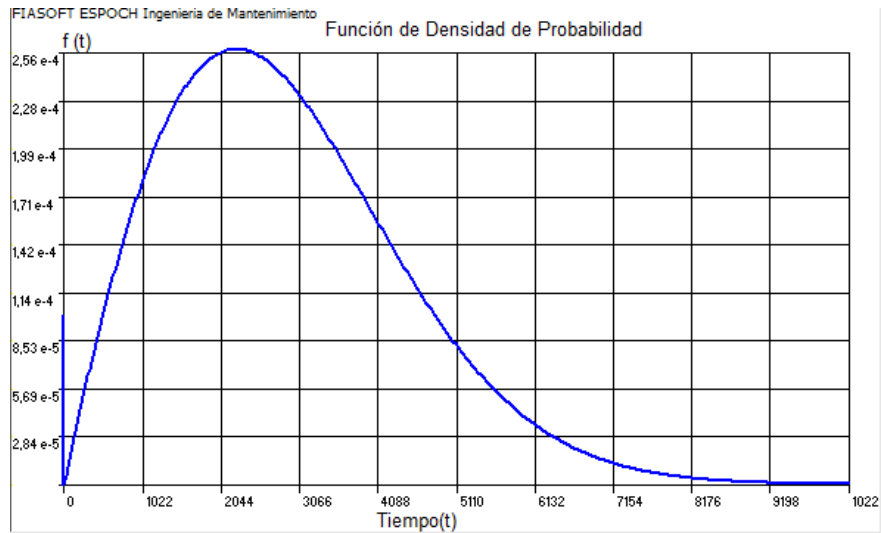


Figura 52-3. Densidad de Probabilidad de la cámara de empuje N°1.

Fuente: Software Fiasoft

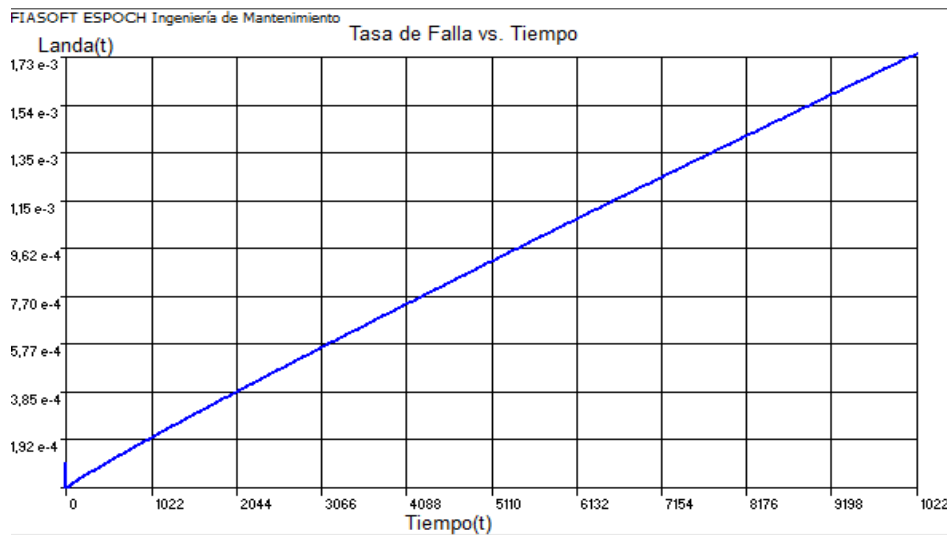


Figura 53-3. Tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en la cámara de empuje N°1.

Fuente: Software Fiasoft

Índices de fiabilidad

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un tiempo de 2886,38 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione satisfactoriamente el sistema de transmisión cámara de empuje N° 1 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la figura 54-3.

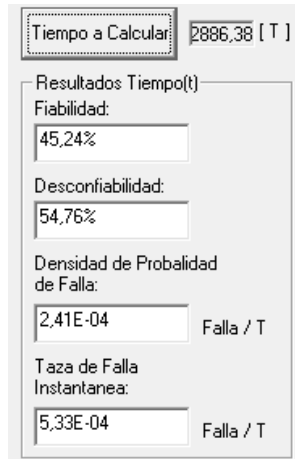


Figura 54-3. Índices de fiabilidad para un tiempo de 2886,38 horas en la cámara de empuje N° 1.

Fuente: Software Fiasoft

3.6.3. Bomba multietapas N° 1.

En la figura 55-3 se muestran los datos de los tiempos entre fallos ingresados al software en forma creciente obteniendo los valores de fiabilidad tanto en valores de porcentaje como en tanto por uno para cada tipo de falla producida en la bomba multietapas N° 1.

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	1.478,00	F	0,1591	15,91%
2	3.236,00	F	0,3864	38,64%
3	5.040,00	F	0,6136	61,36%
4	7.180,00	F	0,8409	84,09%

Figura 55-3. Calculo de la función acumulativa de fallos F(t) de la bomba multietapas N° 1

Fuente: Software Fiasoft

Para determinar los parámetros de forma y vida característica a través del software Fiasoft el cual grafica los valores de los tiempos registrados para cada falla en el eje X y la función acumulativa de fallas F (t) en el eje Y. Como se muestra en la siguiente en la figura 56-3.

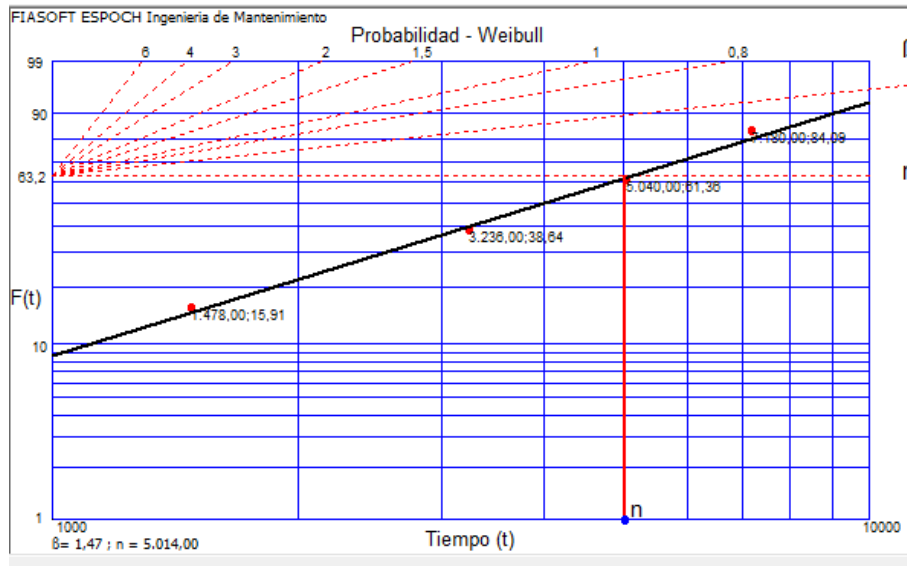


Figura 56-3. Probabilidad de Weibull sistema de bomba multietapas N° 1
Fuente: Software Fiasoft

El software Fiasoft nos ayuda a obtener el valor del parámetro de vida característica en el eje de las X que en este caso es el parámetro de vida característica $n=5014,00$ horas, también nos ayuda a obtener beta- parámetro de forma (β) la cual refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma de distribución la misma que viene a ser la pendiente de la recta y tiene un valor de 1,47. Estos valores se muestran en la figura 57-3.



Figura 57-3. Parámetros de fiabilidad en el sistema de bomba multietapas N° 1
Fuente: Software Fiasoft

En la figura 58-3 se representa la curva de la fiabilidad en el sistema de bombeo multietapas N° 1, en donde se puede observar que a medida que transcurre el tiempo el valor de la fiabilidad disminuye o decrece, como se muestra a continuación:

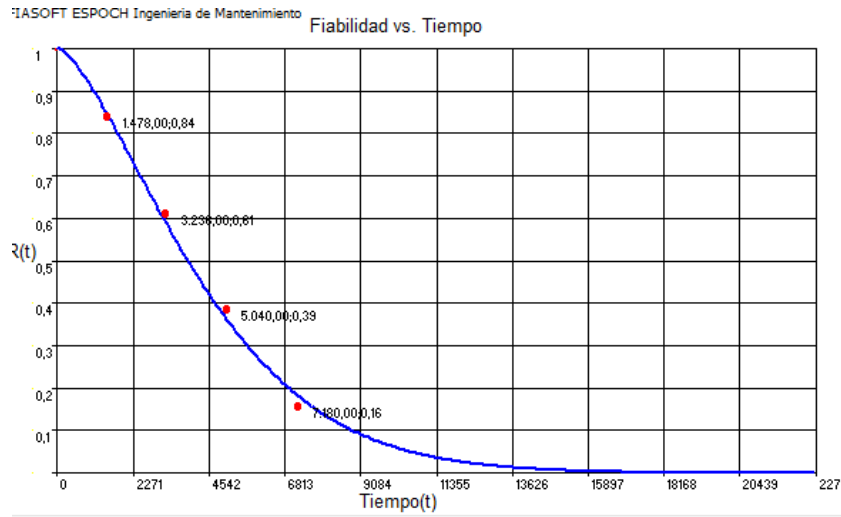


Figura 58-3. Fiabilidad vs. Tiempo en el sistema de bomba multietapas N° 1

Fuente: Software Fiasoft

La figura 59-3 representa la distribución de la curva de la in fiabilidad en el sistema de bombeo multietapas N° 1, en donde se puede observar que a medida que transcurre el tiempo el valor de la in fiabilidad aumenta.

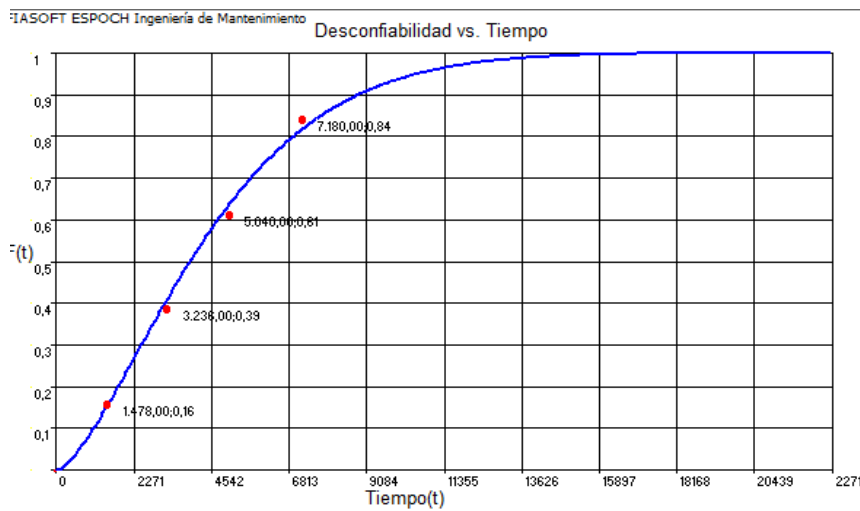


Figura 59-3. Infiabilidad vs. Tiempo en la bomba multietapas N° 1

Fuente: Software Fiasoft

La figura 60-3 representa la denominada función de densidad de probabilidad de fallas en el sistema de bombeo multietapas N° 1.

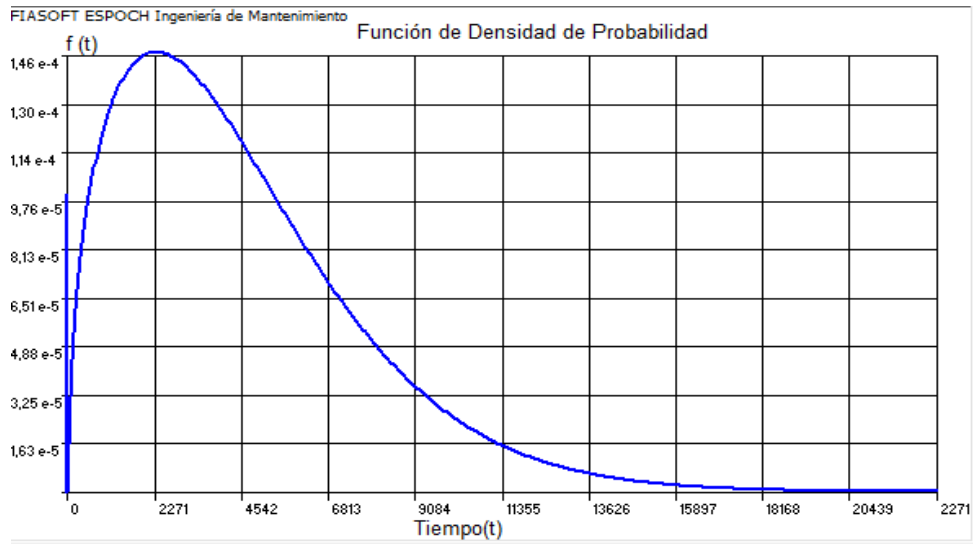


Figura 60-3. Densidad de probabilidad de fallas en la bomba multietapas N° 1
Fuente: Software Fiasoft

La figura 61-3 representa la gráfica tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en el sistema de bombeo multietapas N° 1.

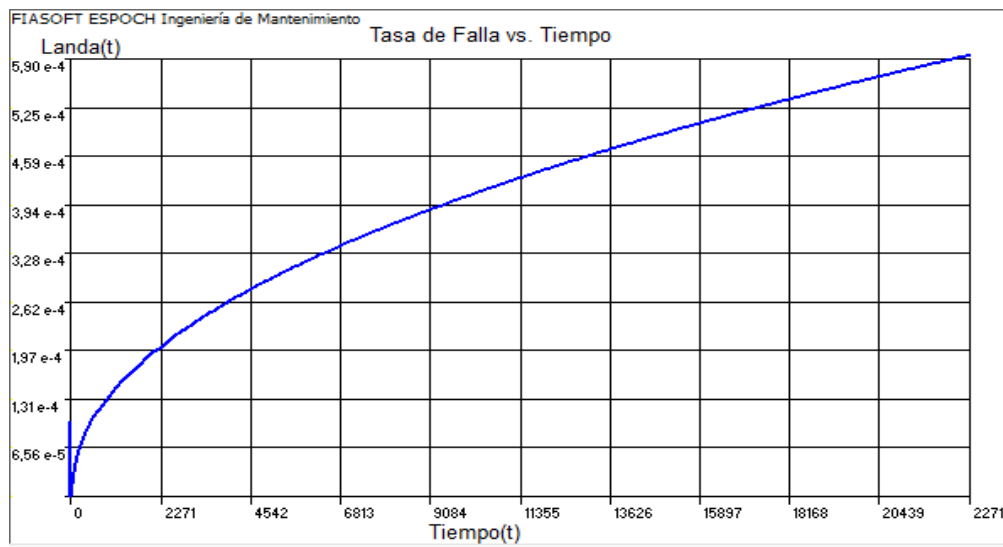


Figura 61-3. Tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en la bomba multietapas N° 1.
Fuente: Software Fiasoft

Índices de fiabilidad

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un tiempo de 4526,64 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione

satisfactoriamente el sistema de bombeo multietapas N° 1 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la figura 62-3.

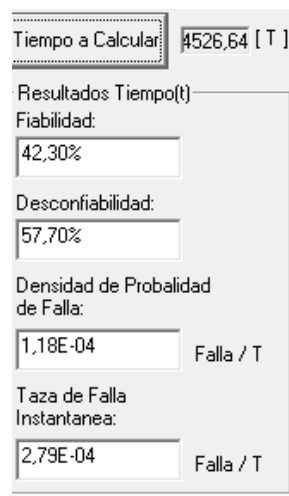


Figura 62-3. Índices de fiabilidad para un tiempo de 4526,64 horas en la bomba multietapas N° 1

Fuente: Software Fiasoft

3.6.4. Motor eléctrico N°2.

En la figura 63-3 se muestran los datos de los tiempos de fallas ingresados al software en forma creciente obteniendo los valores de fiabilidad tanto en valores de porcentaje como en tanto por uno para cada tipo de falla producida en el motor eléctrico N 2.

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	321,00	F	0,1591	15,91%
2	1.119,00	F	0,3864	38,64%
3	6.442,00	F	0,6136	61,36%
4	7.225,00	F	0,8409	84,09%

Figura 63-3. Cálculo de la Fiabilidad no paramétrica del motor eléctrico N° 2.

Fuente: Software Fiasoft

Para determinar los parámetros de forma y vida característica a través del software Fiatsoft el cual grafica los valores de los tiempos registrados para cada falla en el eje X y la función acumulativa de fallas $F(t)$ en el eje Y. Como se muestra en la siguiente en la figura 64-3.

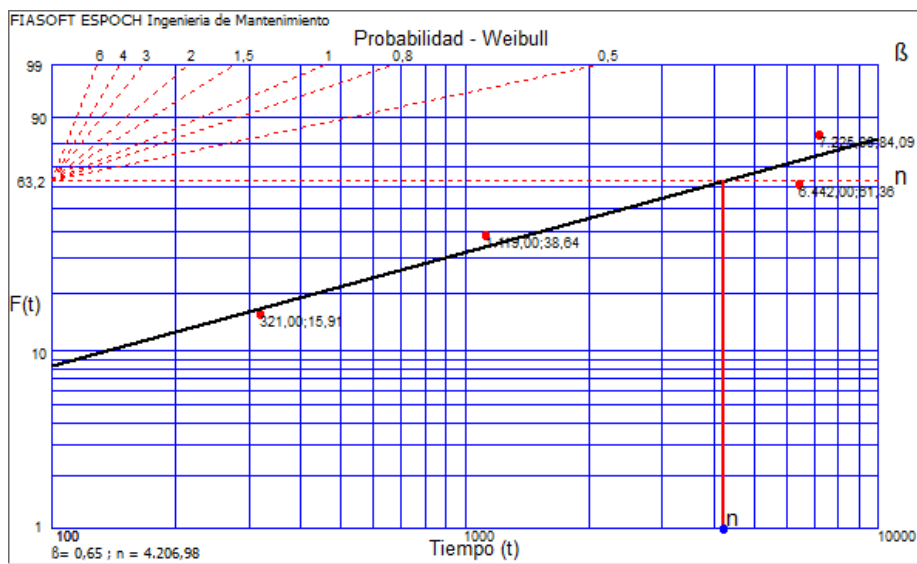


Figura 64-3. Probabilidad de Weibull sistema de potencia motor eléctrico N° 2

Fuente: Software Fiasoft

El software Fiasoft nos ayuda a obtener el valor del parámetro de vida característica en el eje de las X que en este caso es el parámetro de vida característica $n=4206,98$ horas, también nos ayuda a obtener beta- parámetro de forma (β) la cual refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma de distribución que viene a ser la pendiente de la recta y tiene un valor de 0,65. Estos valores se muestran en la figura 65-3.



Figura 65-3. Parámetros de fiabilidad en el motor eléctrico N° 2

Fuente: Software Fiasoft

En la figura 66-3 se representa la curva de la fiabilidad en el sistema de potencia motor eléctrico N° 2, en donde se puede observar que a medida que transcurre el tiempo el valor de la fiabilidad decrece, como se muestra a continuación.

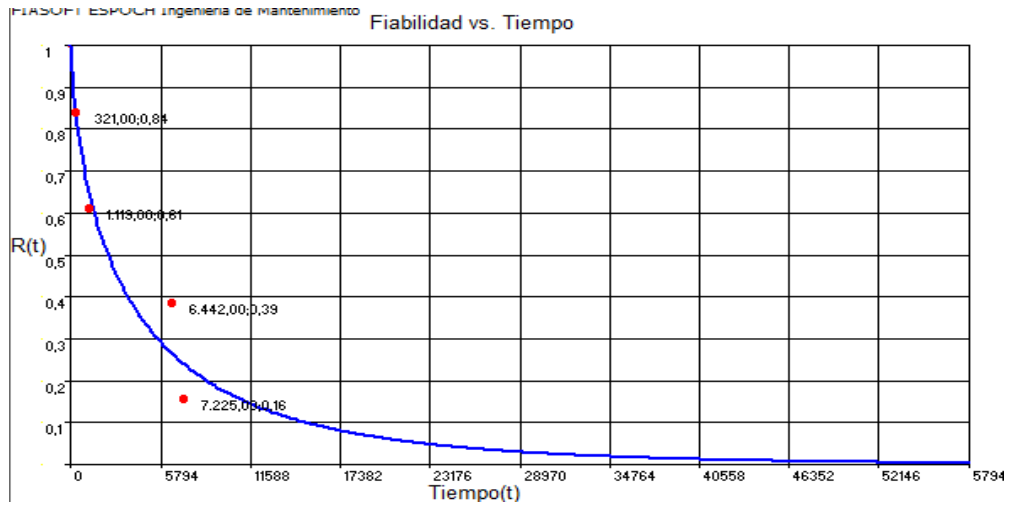


Figura 66-3. Fiabilidad vs. Tiempo en el sistema de potencia motor eléctrico N° 2

Fuente: Software Fiasoft

La figura 67-3 representa la distribución de la curva de la infiabilidad en el sistema de potencia motor eléctrico N° 2, en donde se puede observar que a medida que transcurre el tiempo el valor de la infiabilidad aumenta o crece.

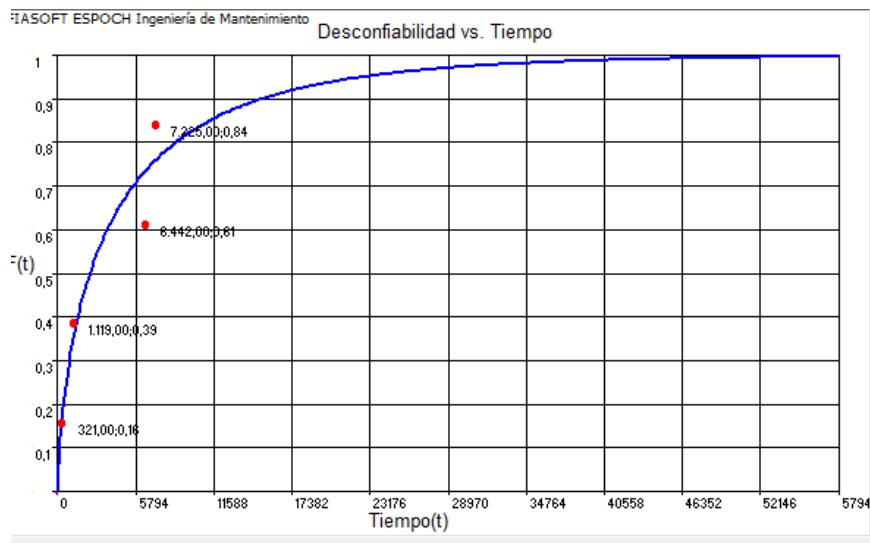


Figura 67-3. Infiabilidad vs. Tiempo en el sistema de potencia motor eléctrico N° 2

Fuente: Software Fiasoft

La figura 68-3 representa la denominada función de densidad de probabilidad de fallas en el sistema de potencia motor eléctrico N° 2.

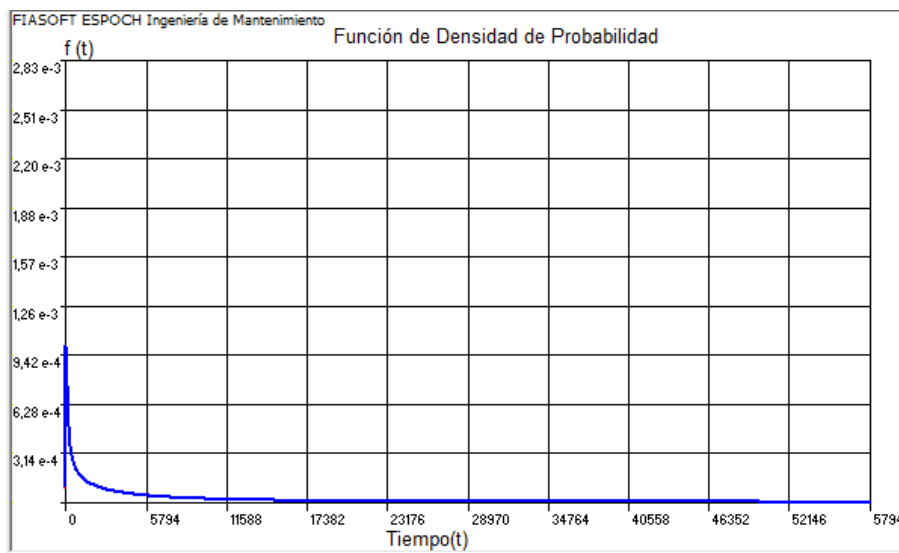


Figura 68-3. Densidad de probabilidad de fallas en el motor eléctrico N° 2

Fuente: Software Fiasoft

La figura 69-3 representa la gráfica tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en el motor eléctrico N° 2.

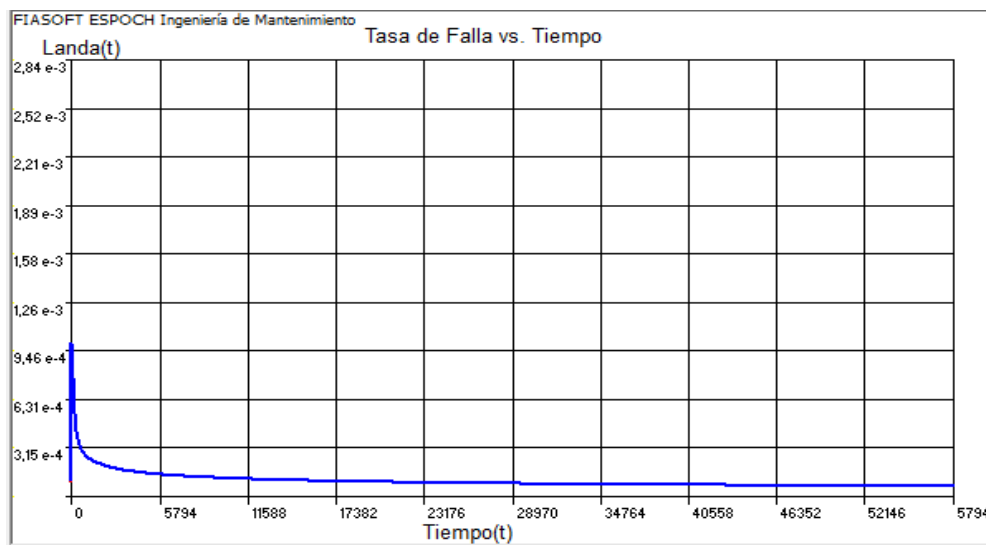


Figura 69-3. Tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en el motor eléctrico N° 2.

Fuente: Software Fiasoft

Índices de fiabilidad.

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un tiempo de 5325,20 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione

satisfactoriamente el sistema de potencia motor eléctrico N° 2 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la figura 70-3.

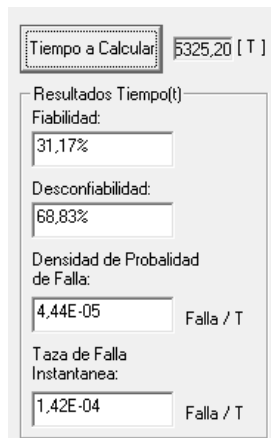


Figura 70-3. Índices de fiabilidad para un tiempo de 5325,20 horas en el motor eléctrico N° 2

Fuente: Software Fiasoft

3.6.5. Cámara de empuje N°2.

En la figura 71-3 se muestran los datos de los tiempos entre fallos ingresados al software en forma creciente obteniendo los valores de fiabilidad tanto en valores de porcentaje como en tanto por uno para cada tipo de falla producida en la cámara de empuje N° 2.

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	995,00	F	0,1296	12,96%
2	1.039,00	F	0,3148	31,48%
3	1.811,00	F	0,5000	50,00%
4	5.391,00	F	0,6852	68,52%
5	5.766,00	F	0,8704	87,04%

Figura 71-3. Calculo de la función acumulativa de fallos F(t) de la cámara de empuje N° 2.

Fuente: Software Fiasoft

Para determinar los parámetros de forma y vida característica a través del software Fiasoft el cual grafica los valores de los tiempos registrados para cada falla en el eje X y la función acumulativa de fallas F (t) en el eje Y. Como se muestra en la siguiente en la gráfica 72-3.

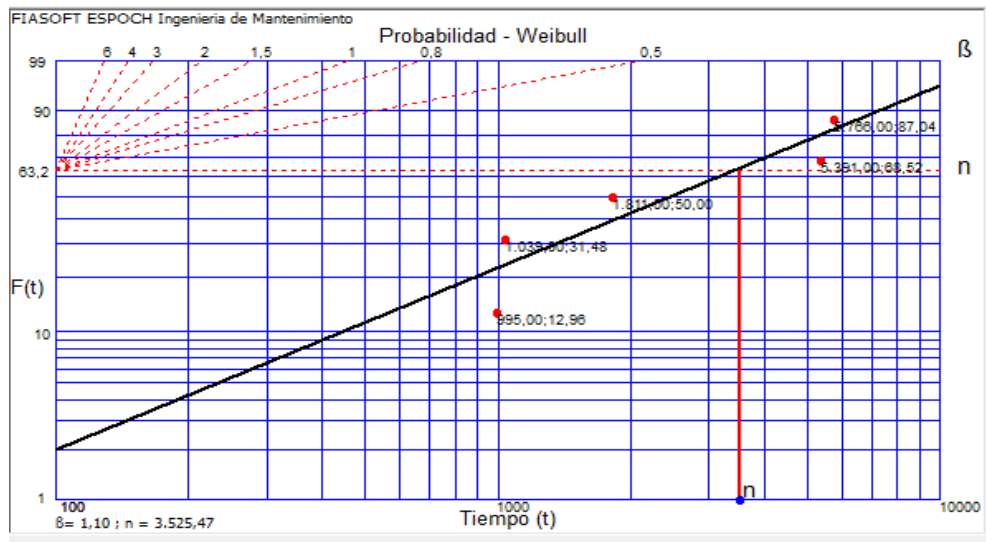


Figura 72-3. Probabilidad de Weibull sistema de transmisión cámara de empuje N° 2

Fuente: Software Fiasoft

El software Fiasoft nos ayuda a obtener el valor del parámetro de vida característica en el eje de las X que en este caso es el parámetro de vida característica $n=3525,47$ horas, también nos ayuda a obtener beta- parámetro de forma (β) la cual refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma de distribución la misma que viene a ser la pendiente de la recta da y tiene un valor de 1,10. Estos valores se muestran en la figura 73-3.

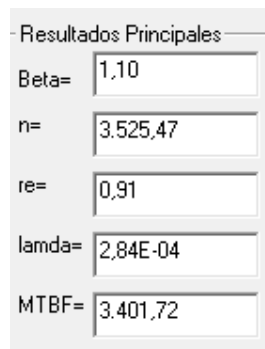


Figura 73-3. Parámetros de fiabilidad en el sistema de transmisión cámara de empuje N° 2.

Fuente: Software Fiasoft

En la figura 74-3 se representa la curva de la fiabilidad en el sistema de transmisión cámara de empuje N° 2, en donde se puede observar que a medida que transcurre el tiempo el valor de la fiabilidad disminuye o decrece, como se muestra a continuación:

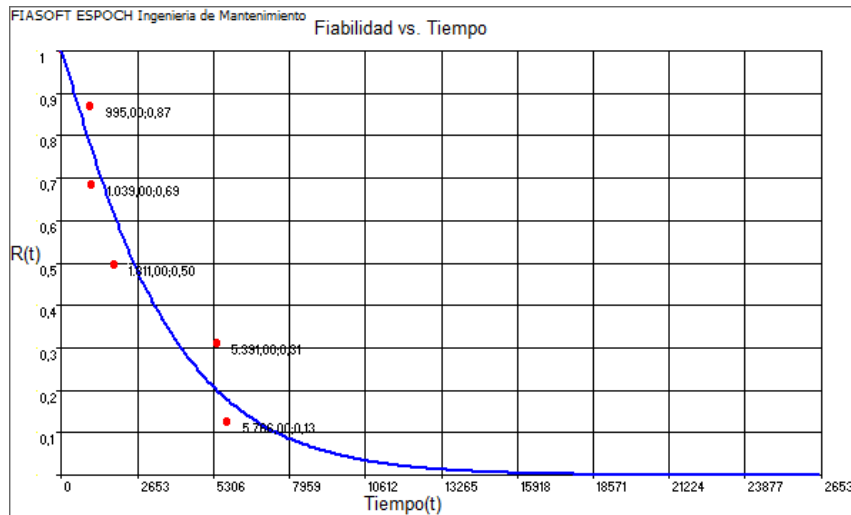


Figura 74-3. Parámetros de fiabilidad en el sistema de transmisión cámara de empuje N° 2

Fuente: Software Fiasoft

La figura 75-3 representa la distribución de la curva de la infiabilidad en el sistema de transmisión cámara de empuje N° 2, en donde se puede observar que a medida que transcurre el tiempo el valor de la infiabilidad aumenta.

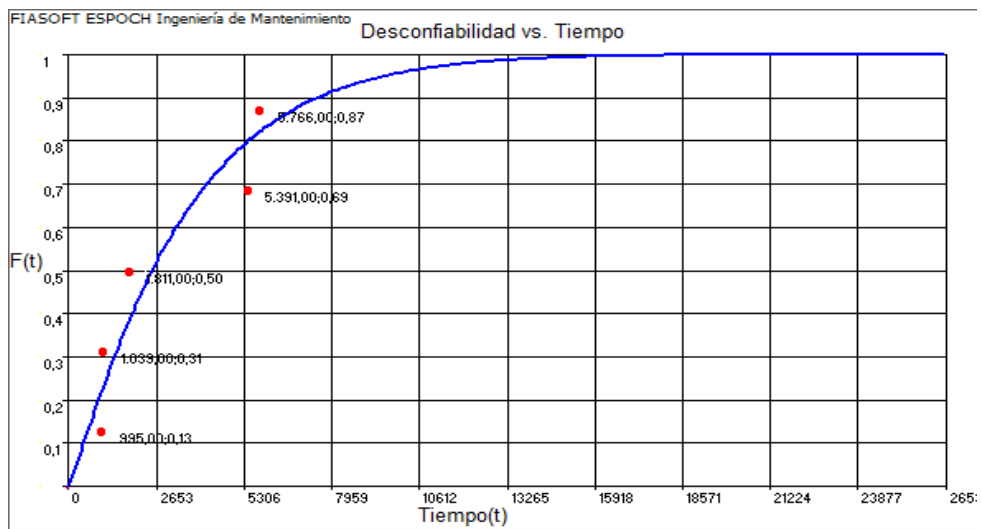


Figura 75-3. Infiabilidad vs. Tiempo en el sistema de transmisión cámara de empuje N° 2

Fuente: Software Fiasoft

La figura 76-3 representa la denominada función de densidad de probabilidad de fallas en el sistema de transmisión cámara de empuje N° 2.

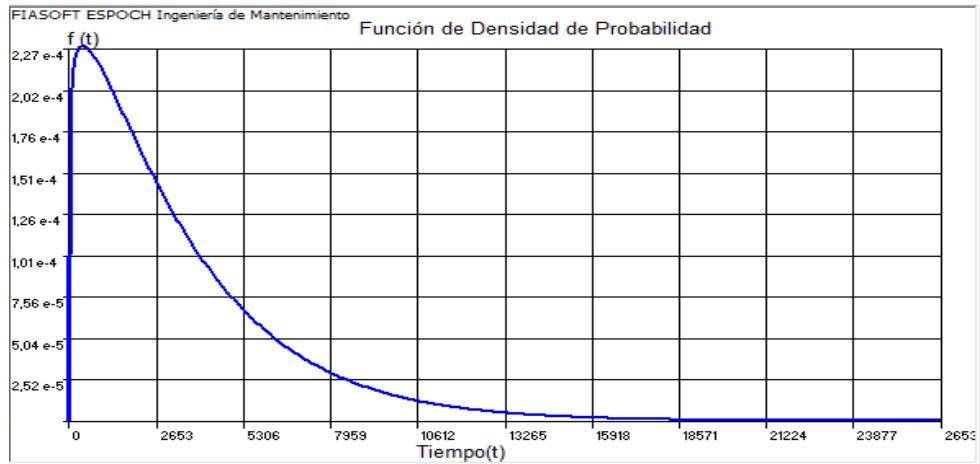


Figura 76-3. Densidad de probabilidad de fallas en la cámara de empuje N° 2

Fuente: Software Fiasoft

La figura 77-3 representa la gráfica tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en el sistema de transmisión cámara de empuje N°2.

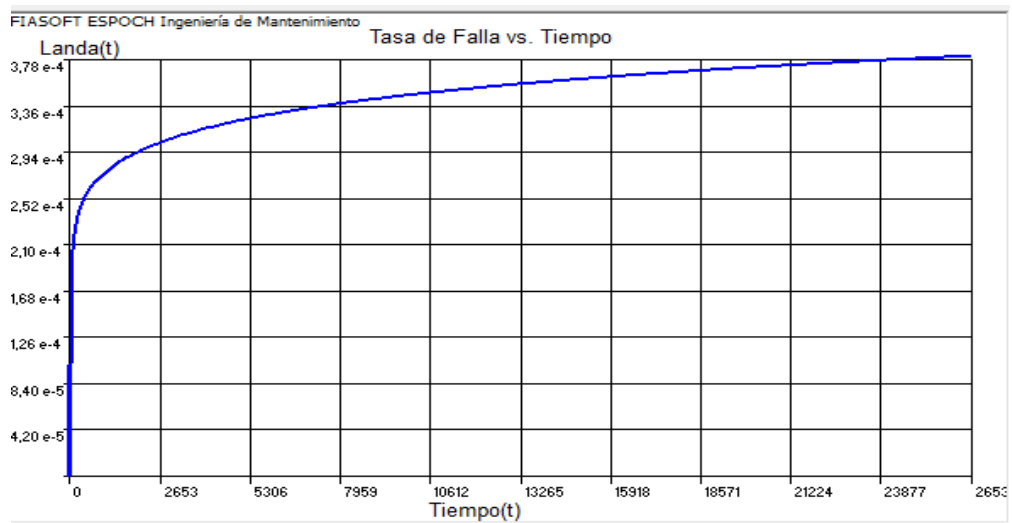


Figura 77-3. Tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en la cámara de empuje N°2.

Fuente: Software Fiasoft

Índices de fiabilidad.

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un tiempo de 3401,72 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione satisfactoriamente el sistema de transmisión cámara de empuje N° 2 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la figura 78-3.

Tiempo a Calcular: 3401,72 [T]

Resultados Tiempo(t)

Fiabilidad: 38,23%

Desconfiabilidad: 61,77%

Densidad de Probabilidad de Falla: 1,19E-04 Falla / T

Taza de Falla Instantanea: 3,11E-04 Falla / T

Figura 78-3. Índices de fiabilidad para un tiempo de 3401,72 h en la cámara de empuje N° 2

Fuente: Software Fiasoft

3.6.6. Bomba multietapas N°2.

En la figura 79-3 se muestran los datos de los tiempos ingresados al software forma creciente obteniendo los valores de fiabilidad tanto en valores de porcentaje como en tanto por uno para cada tipo de falla producida en la bomba multietapas N° 2.

Falla	Tiempo	Falla/Susp	F(t)	% F(t)
1	1.450,00	F	0,1296	12,96%
2	1.593,00	F	0,3148	31,48%
3	2.025,00	F	0,5000	50,00%
4	4.626,00	F	0,6852	68,52%
5	5.780,00	F	0,8704	87,04%

Figura 79-3. Calculo de la función acumulativa de fallos F(t) de la bomba multietapas N° 2.

Fuente: Software Fiasoft

Para determinar los parámetros de forma y vida característica a través del software Fiasoft el cual grafica los valores de los tiempos registrados para cada falla en el eje X y la función acumulativa de fallas F (t) en el eje Y. Como se muestra en la figura 80-3.

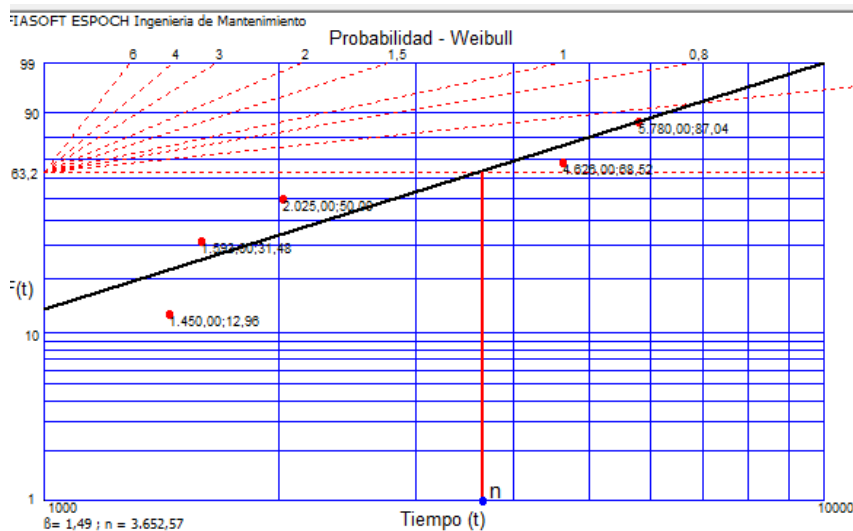


Figura 80-3. Probabilidad de Weibull sistema de bomba multietapas N° 2

Fuente: Software Fiasoft

El software Fiasoft nos ayuda a obtener el valor del parámetro de vida característica en el eje de las X que en este caso es el parámetro de vida característica $n=3652,57$ horas, también nos ayuda a obtener beta- parámetro de forma (β) la cual refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma de distribución que viene a ser la pendiente de la recta y tiene un valor de 1,49. Estos valores se muestran en la figura 81-3.

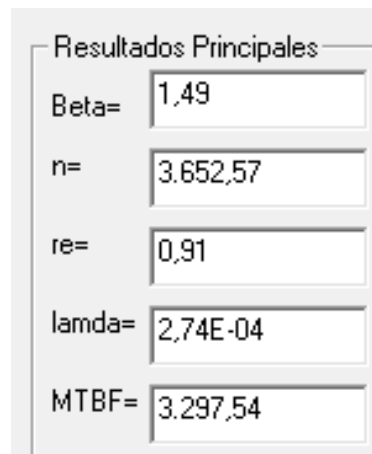


Figura 81-3. Parámetros de fiabilidad en la bomba multietapas N° 2

Fuente: Software Fiasoft

En la figura 82-3 se representa la curva de la fiabilidad en el sistema de bombeo multietapas N° 2, en donde se puede observar que a medida que transcurre el tiempo el valor de la fiabilidad decrece, como se muestra a continuación.

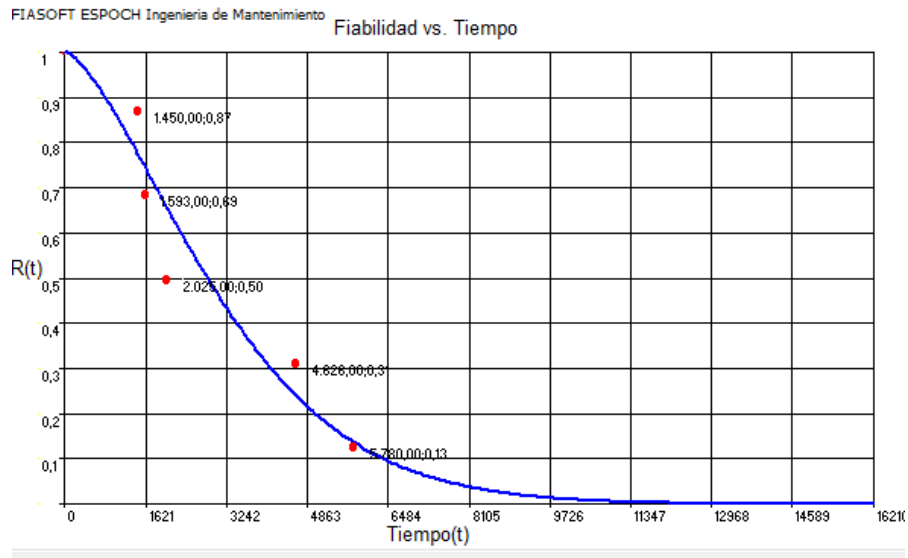


Figura 82-3. Fiabilidad vs. Tiempo en la bomba multietapas N° 2

Fuente: Software Fiasoft

La figura 83-3 representa la distribución de la curva de la infiabilidad en el sistema de bombeo multietapas N° 2, en donde se puede observar que a medida que transcurre el tiempo el valor de la infiabilidad aumenta.

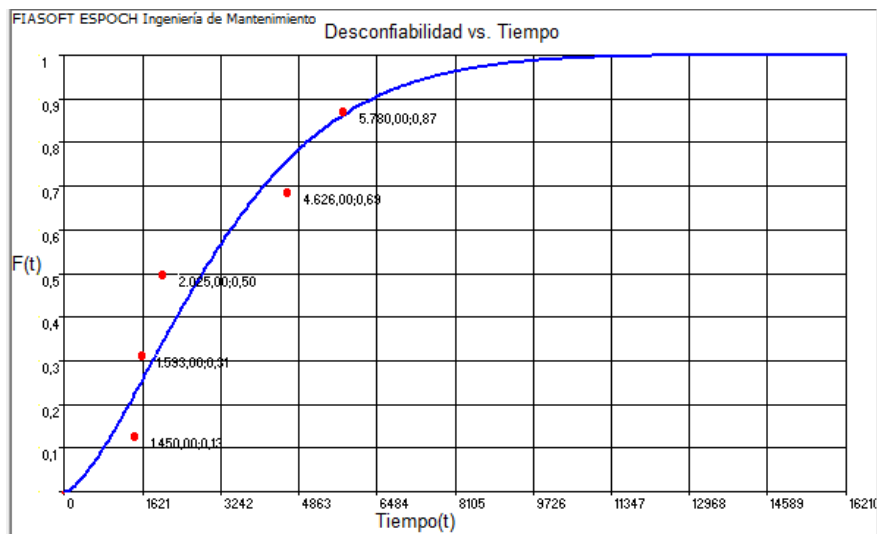


Figura 83-3. Infiabilidad vs. Tiempo en la bomba multietapas N° 2

Fuente: Software Fiasoft

La figura 84-3 representa la denominada función de densidad de probabilidad de fallas en el sistema de bombeo multietapas N° 2.

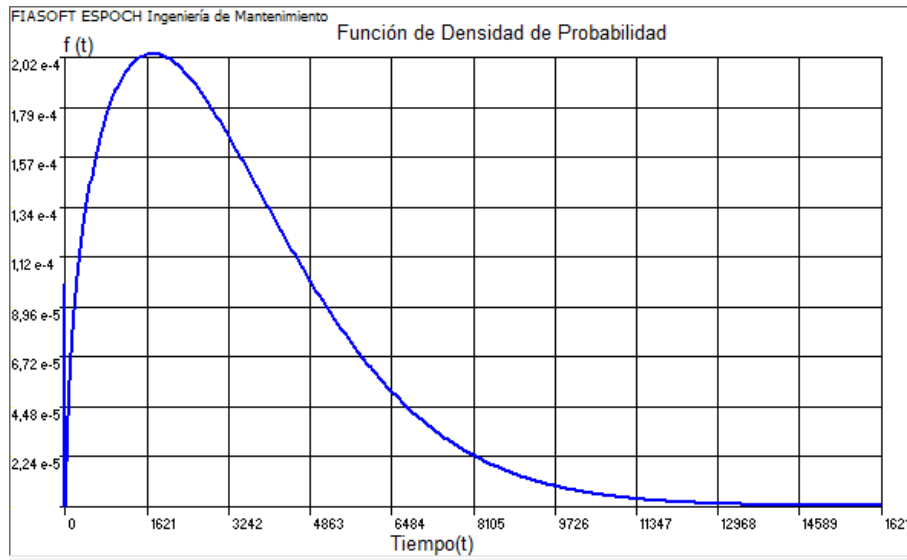


Figura 84-3. Densidad de probabilidad de fallas en el sistema de bombeo multietapas N° 2.

Fuente: Software Fiasoft

La figura 85-4 representa la gráfica tasa de fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en el sistema de bombeo multietapas N° 2.

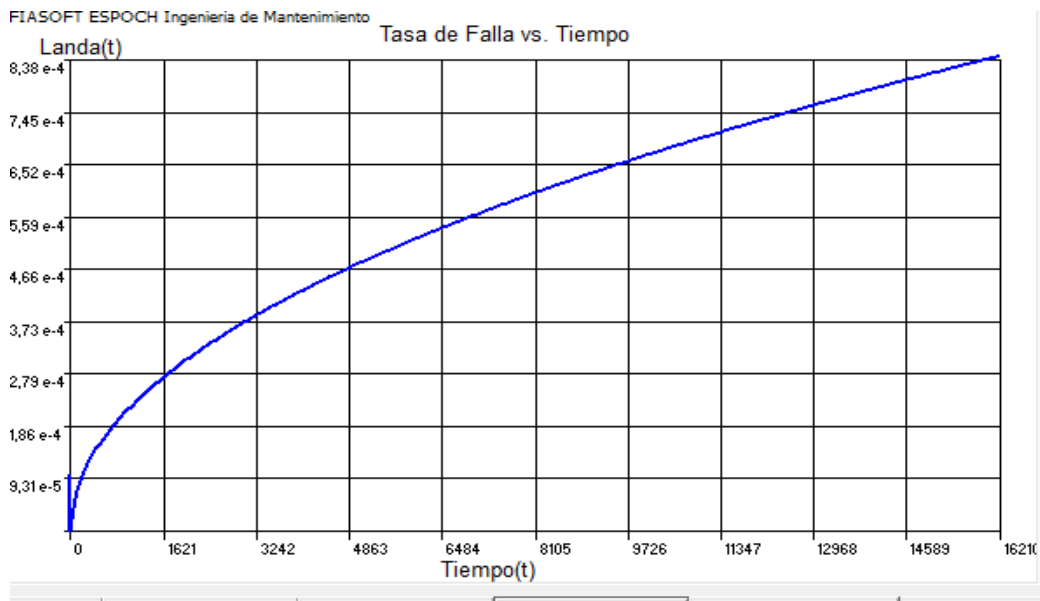


Figura 85-4. Tasa de Fallas $\lambda(t)$ en relación al tiempo en la bomba multietapas N° 2.

Fuente: Software Fiasoft

Índices de fiabilidad

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un tiempo de 3297,54 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione satisfactoriamente el sistema de bombeo multietapas N° 2 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la figura 86-3.

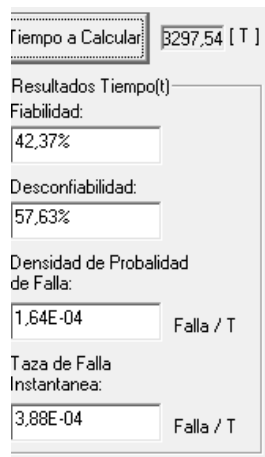


Figura 86-3. Índices de fiabilidad para un tiempo de 3297,54 horas en la bomba multietapas N° 2

Fuente: Software Fiasoft

Tabla 38-3: Parámetros e índices de fiabilidad de las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS 1 y 2. PAPEL DE WEIBULL

Parámetros e índices	Distribución estadística Weibull						Distribución estadística exponencial	
	Sistema de potencia		Sistema de transmisión		Sistema de bombeo		Sistema de instrumentación y control	
	Motor eléctrico 1	Motor eléctrico 2	Cámara de empuje 1	Cámara de empuje 2	Bomba multietapas 1	Bomba multietapas 2	Instrumentación y control 1	Instrumentación y control 2
Parámetro de forma β	0,65	0,67	1,67	1,10	1,4	2,10		
Parámetro de vida característica α	5600	4200	3900	3200	5000	3600		
Tiempo Medio entre Fallos TMEF [h]	7651,28	5566,26	3484,26	3087,68	4557	3188,52	4272	3749
Tasa de fallos λ [1/h]	$1,04 \times 10^{-4}$	$1,45 \times 10^{-4}$	$3,97 \times 10^{-4}$	$3,42 \times 10^{-4}$	$2,69 \times 10^{-4}$	$5,10 \times 10^{-4}$	$2,34 \times 10^{-4}$	$2,66 \times 10^{-4}$
Fiabilidad	29,37%	29,88%	43,67%	38,23%	41,55%	46,07%	36,78%	36,78%
Infiabilidad	70,62%	70,11%	56,32%	61,76%	58,44%	53,92%	63,21%	63,22%
Densidad de probabilidad de fallos $f(t)$ [1/h]	$3,05 \times 10^{-5}$	$4,34 \times 10^{-5}$	$1,73 \times 10^{-4}$	$1,13 \times 10^{-4}$	$1,12 \times 10^{-4}$	$2,35 \times 10^{-4}$	$8,61 \times 10^{-5}$	$9,81 \times 10^{-5}$

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 39-3: Parámetros e índices de fiabilidad de las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS 1 y 2. FIASOFT

Parámetros e índices	Distribución estadística Weibull						Distribución estadística exponencial	
	Sistema de potencia		Sistema de instrumentación y control		Sistema de bombeo		Sistema de instrumentación y control	
	Motor eléctrico 1	Motor eléctrico 2	Cámara de empuje 1	Cámara de empuje 2	Bomba multietapas 1	Bomba multietapas 2	Instrumentación y control 1	Instrumentación y control 2
Parámetro de forma β	0,67	0,65	1,94	1,10	1,47	1,49	-	-
Parámetro de vida característica α	5796,77	4206,98	3252,63	3525,47	5014	3652,57	-	-
Tiempo Medio entre Fallos TMEF [h]	7336,76	5325,20	2886,38	3401,72	4526,64	3297,54	4272	3749
Tasa de fallos λ [1/h]	$1,07 \times 10^{-4}$	$1,42 \times 10^{-4}$	$5,33 \times 10^{-4}$	$3,11 \times 10^{-4}$	$2,79 \times 10^{-4}$	$3,88 \times 10^{-4}$	$2,34 \times 10^{-4}$	$2,66 \times 10^{-4}$
Fiabilidad	31%	31,17%	45,24%	38,23%	42,30%	42,37%	36,78%	36,78%
Infiabilidad	69%	68,83%	54,76%	61,77%	57,7%	57,63%	63,22%	63,22%
Densidad de probabilidad de fallos $f(t)$ [1/h]	$3,32 \times 10^{-5}$	$4,44 \times 10^{-5}$	$2,41 \times 10^{-5}$	$1,19 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-4}$	$1,64 \times 10^{-4}$	$8,61 \times 10^{-5}$	$9,81 \times 10^{-5}$

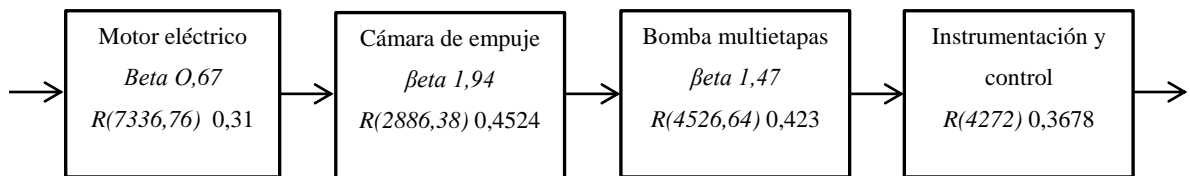
Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

3.7. Determinación de la fiabilidad de los componentes de las bombas del sistema de reinyección de agua del Campo Auca.

Se realiza el cálculo multiplicando las fiabilidades de cada componente: motor eléctrico, cámara de empuje, bomba multietapas e instrumentación y control como una estructura en serie ya que todos los componentes deben de funcionar correctamente en cada unidad reinyección del sistema.

3.7.1. Componentes de la unidad de reinyección de agua N. 1

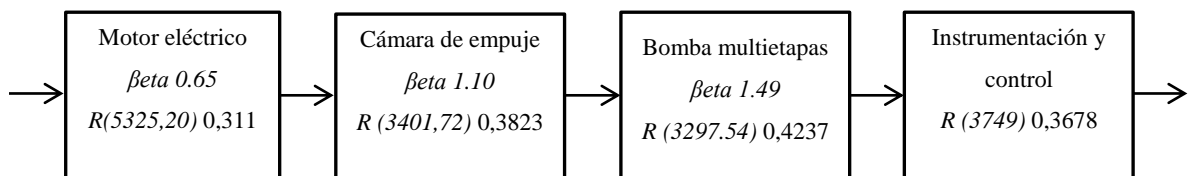


$$R(t) = R_1(t) * R_2(t) * R_3(t) * R_4(t)$$

$$R(t) = 0,31 * 0,4524 * 0,423 * 0,3678$$

$$R(t) = 2,18\%$$

3.7.2. Componentes de la unidad de reinyección de agua N. 2



$$R(t) = R_1(t) * R_2(t) * R_3(t) * R_4(t)$$

$$R(t) = 0,3117 * 0,3823 * 0,4237 * 0,3678$$

$$R(t) = 1,85\%$$

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Propuesta del plan de mantenimiento.

Un plan de mantenimiento moderno consiste en la combinación de estrategias que deberán ser escogidas para mantener el sistema de reinyección de agua operando bajo su contexto operacional. En el proceso a desarrollar el plan de mantenimiento, debe determinar el mejor procedimiento para obtener un buen desempeño del sistema y la efectividad de los procedimientos de mantenimiento normalmente se logran analizando su importancia crítica que tiene el proceso de reinyección de agua en la producción de petróleo.

El desarrollo y la modificación del plan de mantenimiento deben ser considerado como una actividad continua y permanente, con el fin de mejorar del desempeño y la fiabilidad del sistema de reinyección de agua.

El plan de mantenimiento es el conjunto de tareas que resultan del análisis de la ingeniería de la fiabilidad, este programa se ha basado en datos reales de fallos, ha sido diseñado con el fin de mejorar el programa existente de mantenimiento, a partir de la experiencia o de las recomendaciones del fabricantes con el beneficio que proporciona un enfoque normalizado en la ingeniería de la fiabilidad.

Desarrollar un plan de mantenimiento aplicando los estudios de fiabilidad en base a la tasa de fallos para poder lograr cada vez niveles más altos de disponibilidad del sistema.

4.2. Planificación

Existen tres áreas básicas en la planeación del mantenimiento.

- El largo plazo
- El corto plazo
- Planes inmediatos

4.2.1. Planificación a largo plazo.

Esta planificación está ligada a proyectos de largo plazo que tendremos como es el caso del aumento del volumen de agua de formación y la implementación de una nueva unidad de reinyección de agua para cumplir con requerimientos de volúmenes de reinyección de agua.

4.2.2. Planificación a corto plazo.

En este caso se ha revisado los planes de mantenimiento que se tienen desarrollados con un horizonte aproximado de un año. Se ha hecho una revisión de actividades las rutas de mantenimiento predictivo y tareas de mantenimiento preventivo.

4.2.3. Planificación inmediata.

Agrupar actividades de planificación diaria en forma coordinada con el departamento de operaciones con el propósito de reducir el tiempo utilizado capacitando adecuadamente al personal operativo y proveer herramientas y materiales y una descripción detallada del trabajo que va a realizar antes de que inicie la operación de las unidades de bombeo de reinyección de agua.

4.3. Plan de mantenimiento.

Tienen como objetivo primordial el lograr que las unidades de bombeo de reinyección de agua del sistema trabajen en forma normal durante todo su período de vida útil. Las cuales formaran parte del programa el registro de datos y fallas, la programación de las tareas, las normas técnicas, los recursos materiales, humanos y controles necesarios para su desarrollo.

4.4. Etapas del plan de mantenimiento

Las principales etapas que se debe llevar a cabo el plan de mantenimiento se puede resumir en la siguiente lista:

- Diagrama de flujo del sistema de reinyección de agua
- Organización del personal de mantenimiento
- Ficha de estado técnico de equipos
- Ensamblar el plan de mantenimiento propuesto para el sistema de reinyección de agua del campo Auca

4.4.1. Diagrama de flujo del sistema de reinyección de agua.

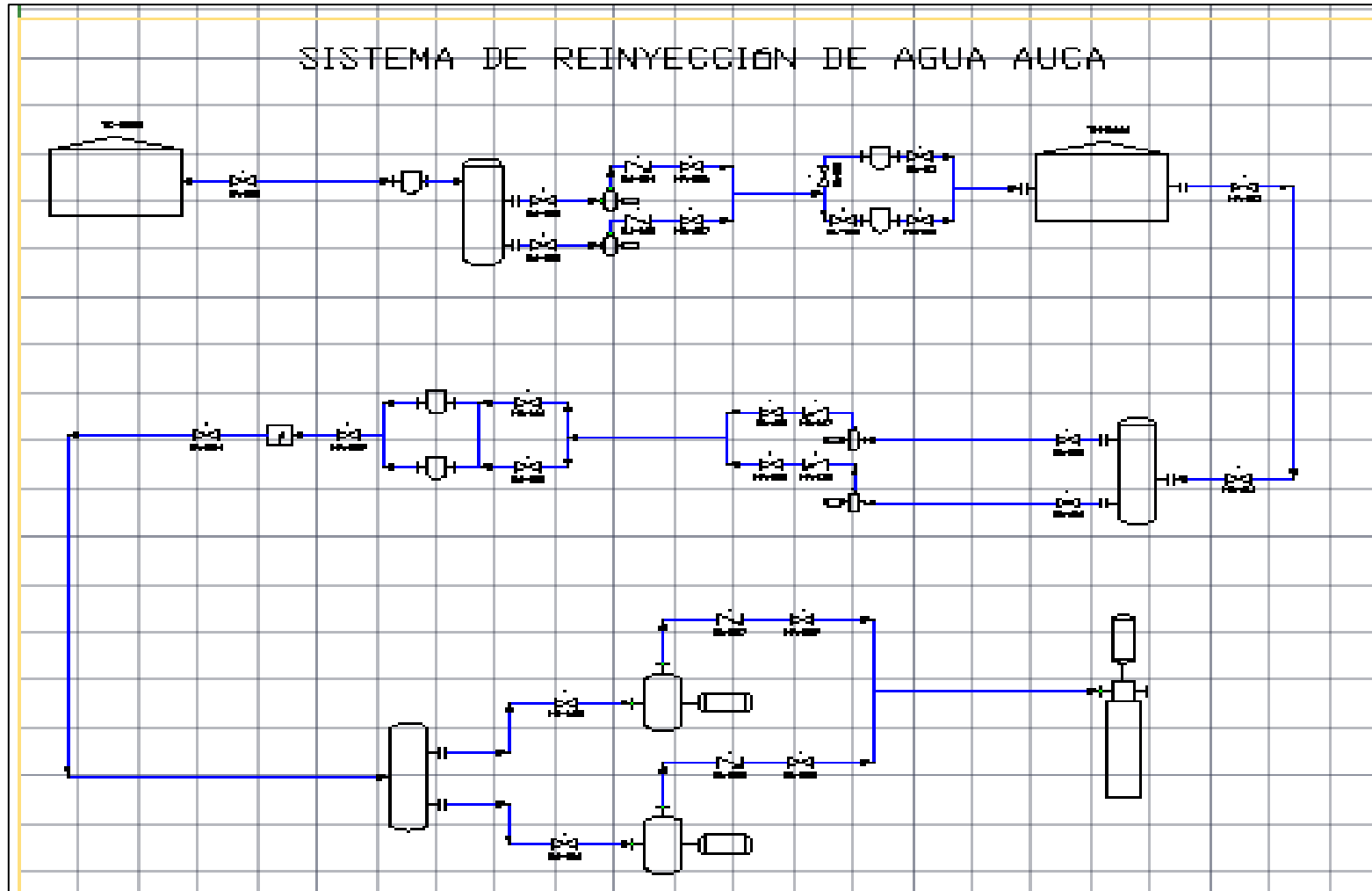


Figura 1-4. Diagrama de flujo del sistema de reinyección de agua

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

4.4.2. Organización del personal de mantenimiento del Bloque 61 campo Auca.

El grupo de trabajo del departamento de mantenimiento del campo Auca está compuesto por:

- Dos superintendentes de mantenimiento por turno de catorce días.
- Dos supervisores mecánicos por turno de catorce días.
- Dos supervisores eléctricos por turno de catorce días.
- Dos supervisores de instrumentación por turno de catorce días.
- Dos supervisores de planta de generación por turno de catorce días.
- Dos ingenieros de integridad mecánica por turno de catorce días.
- Dos supervisores de predictivo por turno de catorce días.
- Dos ingenieros de gestión de activos por turno de catorce días.
- Dos analistas de control de costos de mantenimiento por turno de catorce días.

El personal técnico está conformado por:

- Seis técnicos mecánicos por turno de catorce días.
- Seis técnicos eléctricos por turno de catorce días.
- Cuatro técnicos instrumentistas por turno de catorce días.
- Dieciséis técnicos de planta de generación por turno de catorce días.
- Dos técnicos de integridad mecánica por turno de catorce días.
- Dos ingenieros de predictivo por turno de catorce días.

El personal de apoyo o auxiliares:

- Diez ayudantes mecánicos por turno de catorce días.
- Doce ayudantes eléctricos por turno de catorce días.
- Seis ayudantes de instrumentación por turno de catorce días.
- Dieciséis ayudantes de planta de generación por turno de catorce días.
- Cuatro ayudantes de integridad mecánica por turno de catorce días.

4.4.2.1. *Funciones y Responsabilidades.*

Superintendente de Mantenimiento.

Tiene la responsabilidad de garantizar la operatividad de los equipos, sistemas, procesos y coordinar los trabajos de mantenimiento de los equipos en general además supervisar que se realicen los procedimientos y rutinas de mantenimiento de equipos y sistemas.

Supervisor Mecánico.

Tiene la responsabilidad de supervisar y asignar responsabilidades a los técnicos mecánicos y coordinar los mantenimientos de los equipos rotativos del campo además de supervisar y realizar requisiciones para mantener un stock adecuado de repuestos, partes y piezas de los equipos mecánicos.

Supervisor Eléctrico.

Tiene la responsabilidad de revisar y evaluar el funcionamiento de equipos especiales tales como: VSD, switch gear, transformadores, desarrollar e implementar los programas de mantenimiento de los equipos del departamento de mantenimiento eléctrico.

Supervisor de Instrumentación.

Tiene la responsabilidad de planificar y supervisar actividades de mantenimiento de los equipos de instrumentación además de verificar la operación óptima de los sistemas de monitoreo y control.

Supervisor de Planta de Generación.

Tiene la responsabilidad de planificar, coordinar y supervisar las actividades diarias basadas en el programa de mantenimiento de centrales de generación además de hacer requisiciones de todos los repuestos y materiales que se necesiten para mantener operativos los equipos de generación eléctrica.

Ingeniero de Integridad Mecánica.

Tiene la responsabilidad de coordinar y ejecutar trabajos de inspección directa e indirecta, a fin de garantizar la integridad de los equipos estáticos, tuberías de proceso y sistema de transporte de hidrocarburos, además la ejecución de la medición de espesores en recipientes y líneas que transportan petróleo, agua de producción y gas; interpretar resultados y proveer recomendaciones asociadas con tasas de corrosión calculadas.

Ingeniero de Mantenimiento Predictivo.

Tiene la responsabilidad de realizar un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), desarrollando un programa de aplicación de técnicas modernas de mantenimiento predictivo incluyendo pero no limitado a monitorear vibraciones, tecnología infrarroja, tecnología de ultrasonido, análisis de aceite y agua; inspeccionar equipos rotativos y no rotativos. Mantener un histórico de datos, reportes y tendencias además de realizar análisis de causa raíz de fallos en equipos.

Ingenieros de Gestión de Activos.

Tiene la responsabilidad de coordinar y modular las estrategias para el gerenciamiento de activos utilizando técnicas de mantenimiento predictiva e integridad mecánica siendo los responsables de la información resultante de los indicadores de gestión del departamento de mantenimiento integrados del negocio tales como Máximo Oil&Gas, analizar el historial de la información, verificar tendencias, asegurando calidad de la misma.

Analistas de Control de Costos.

Tiene la responsabilidad de realizar la planificación de los costos de mantenimiento analizando los parámetros de mantenimiento para optimizar los sistemas de mantenimiento mediante métodos que determinen las causas reales a través de mantenimiento predictivo.

Técnico Mecánico.

Tiene la responsabilidad de realizar el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de los equipos rotativos de planta y facilidades, ayuda también a planificar los trabajos de mantenimiento para que sean ejecutados en el menor tiempo posible, causando el menor impacto en paradas de los equipos.

Técnico Eléctrico.

Tiene la responsabilidad de ejecutar las rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo de todos los equipos eléctricos y electrónicos además realiza el mantenimiento preventivo programado de generadores, arrancadores y motores eléctricos.

Técnico Instrumentista.

Tiene la responsabilidad de realizar los chequeos de rutina y ejecutar mantenimientos preventivos y correctivos de todos los equipos eléctricos, electrónicos e instrumentación del campo.

Técnico de planta de generación.

Tiene la responsabilidad de coordinar el mantenimiento predictivo y correctivo de los equipos de planta de generación.

Técnico de Integridad Mecánica.

Tiene la responsabilidad de dar soporte en la inspección técnica de ductos, tuberías de proceso y equipo estático mediante ensayos no destructivos, además prepara superficies para medición de espesores en tanque, recipientes a presión y líneas de transporte de petróleo, agua de producción y gas.

Ingenieros de Predictivo.

Tiene la responsabilidad de realizar el diagnóstico y control de fallos en máquinas rotativas empleando técnicas predictivas, diseña rutinas de inspección para implementar un programa de mantenimiento predictivo ya que se requiere partir de una buena información.

4.4.3. Codificación de equipos de bombeo del sistema de reinyección de agua.

Se presenta un resumen de la codificación que se emplea en el sistema de reinyección de agua la cual nos indica la localización, sistema y equipos permitiendo tener un control y conocimiento sobre características generales.

Tabla 1-4: Codificación de equipos de bombeo del sistema de reinyección de agua.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO AUCA BL-61		BL-61 AUCA 12/01/2016
Prefijo en Maximo Oil&Gas	Descripción Equipo en ingles	Código agrupación	Código final	
MEL	MOTOR ELECTRIC	EL MOTOR ELECTRICO N° 1	MEL-3245	
MEL	MOTOR ELECTRIC	EL MOTOR ELECTRICO N° 2	MEL-3246	
TCH	THRUST CHAMBER	CE CÁMARA DE EMPUJE N° 1	TCH-0010	
TCH	THRUST CHAMBER	CE CÁMARA DE EMPUJE N° 2	TCH-0075	
PCF	PUMP CENTRIFUGAL	BC BOMBA CENTRIFUGA N° 1	PCF-0916	
			PCF-0937	
PCF	PUMP CENTRIFUGAL	BC BOMBA CENTRIFUGA N°2	PCF-0939	
			PCF-0917	
VSD	VARIABLE SPEED DRIVE	VF VARIADOR DE FRECUENCIA	VSD-021	
SUT	TRANSFORMER STEP UP	TEL TRANSFORMADOR ELEVADOR 480 V 4110V	SUT-033	
SDT	TRANSFORMER STEP DOWN	TRE TRANSFORMADOR REDUCTOR 13.8 A 480 V	SDT-065	
T	TANK	TQ TANQUE DE ALMACENAMIENTO	T-035	
PCV	PRESSURE CONTROL VALVE	VCP VALVULA DE CONTROL DE PRESION	PCV-067	
PSV	PRESSURE SAFETY VALVE	VSG VALVULA DE SEGURIDAD	PSV-090	
MLV	MAIN LINE BLOCK VALVE	VLP VALVULA DE BLOQUE DE LINEA PRINCIPAL	MVL-16	

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

4.4.4. Ficha de estado técnico de los equipos de bombeo de reinyección.

La evaluación del estado técnico de los equipos de reinyección de agua empieza por una revisión previa una valoración la cual puede ser regular, mala y buena de acuerdo al estado y condiciones que se encuentren los equipos ya que los equipos tienen un período de operación que inicio. A continuación se muestran las fichas del estado técnico que se encuentran los equipos del sistema de reinyección de agua:

Tabla 2-4: Ficha del estado técnico del motor eléctrico N° 1

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO AUCA BL-61			BL-61 AUCA 12/01/2016
Área: Mantenimiento		Sistema: Reinyección de Agua			
Código:	MEL-3245				
EQUIPO: MOTOR ELECTRICO N° 1					
INSPECCIONAR		MÉTODO	BUENO	MALO	REGULAR
Estado de pernos y anclaje		Tacto-Visual	X		
Estado de la carcasa		Visual	X		
Rodamientos		Auditivo	X		
Estados de conexiones eléctricas		Visual	X		
Condición de graseros y presencia de grasa		Visual			X
MANTENIMIENTO RECOMENDADO		FOTOGRAFIA DEL EQUIPO			
<ul style="list-style-type: none"> - Continuar realizando mantenimiento rutinario y las inspecciones periódicas revisando el ítem o parámetro condición de graseros y presencia de grasa, planificar y programar actividades que se realizaran para eliminar esta condición en el próximo MP. 					

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 3-4: Ficha del estado técnico del motor eléctrico N° 2

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO AUCA BL-61		BL-61 AUCA 12/01/2016	
Área: Mantenimiento		Sistema: Reinyección de Agua			
Código: MEL-3246					
EQUIPO: MOTOR ELECTRICO N° 1					
INSPECCIONAR	MÉTODO	BUENO	MALO	REGULAR	
Estado de pernos y anclaje	Tacto-Visual	X			
Estado de la carcasa	Visual	X			
Rodamientos	Auditivo	X			
Estados de conexiones eléctricas	Visual			X	
Condición de graseros y presencia de grasa	Visual	X			
MANTENIMIENTO RECOMENDADO		FOTOGRAFIA DEL EQUIPO			
<p>– Continuar realizando mantenimiento rutinario y las inspecciones periódicas revisando el ítem o parámetro condición de estado de conexiones eléctricas, planificar y programar actividades que se realizaran para eliminar esta condición en el próximo MP.</p>					

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 4-4: Ficha del estado técnico de la cámara de empuje N° 1.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO AUCA BL-61		BL-61 AUCA 12/01/2016	
Área: Mantenimiento		Sistema: Reinyección de Agua			
Código:TCH-0010					
EQUIPO: CÁMARA DE EMPUJE N° 1					
INSPECCIONAR	MÉTODO	BUENO	MALO	REGULAR	
Estado de pernos y anclaje	Tacto-Visual	X			
Estado de la carcaza	Visual	X			
Rodamientos	Auditivo	X			
Estado del sistema de refrigeración	Visual	X			
Estado del sistema de lubricación	Visual			X	
Estados de conexiones eléctricas	Visual	X			
MANTENIMIENTO RECOMENDADO		FOTOGRAFIA DEL EQUIPO			
<ul style="list-style-type: none"> - Continuar realizando mantenimiento rutinario y las inspecciones periódicas revisando el ítem o parámetro condición de estado del sistema de lubricación, planificar y programar actividades que se realizaran para eliminar esta condición en el próximo MP. 					

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 5-4: Ficha del estado técnico de la cámara de empuje N° 2

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO AUCA BL-61		BL-61 AUCA 12/01/2016
Área: Mantenimiento		Sistema: Reinyección de Agua		
Código: TCH-0075				
EQUIPO: CÁMAR DE EMPUJE N° 2				
INSPECCIONAR	MÉTODO	BUENO	MALO	REGULAR
Estado de pernos y anclaje	Tacto-Visual	X		
Estado de la carcaza	Visual			X
Estado del sistema de refrigeración	Visual	X		
Estado del sistema de lubricación	Visual	X		
Rodamientos	Auditivo	X		
Estados de conexiones eléctricas	Visual	X		
MANTENIMIENTO RECOMENDADO	FOTOGRAFIA DEL EQUIPO			
<ul style="list-style-type: none"> - Continuar realizando mantenimiento rutinario y las inspecciones periódicas revisando el ítem o parámetro condición de estado de la carcaza de la cámara de empuje, planificar y programar actividades que se realizaran para eliminar esta condición en el próximo MP. 				

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 6-4: Ficha del estado técnico de la bomba multietapas N° 1

	SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO AUCA BL-61	BL-61 AUCA 12/01/2016		
Área: Mantenimiento	Sistema: Reinyección de Agua			
Código:PCF-0916/PCF-0937				
EQUIPO: BOMBA MULTJETAPAS N° 1				
INSPECCIONAR	MÉTODO	BUENO	MALO	REGULAR
Estado de pernos y anclaje	Tacto-Visual	X		
Estado del housing	Visual	X		
Sistema de succión	Visual	X		
Sistema de descarga	Visual	X		
Estado válvula de mariposa de la succión	Visual	X		
Estado válvula check descarga	Visual			X
Estado válvula block descarga	Visual			X
MANTENIMIENTO RECOMENDADO	FOTOGRAFIA DEL EQUIPO			
<ul style="list-style-type: none"> - Continuar realizando mantenimiento rutinario y las inspecciones periódicas revisando el ítem o parámetro condición de estado de válvulas check y block de descarga, planificar y programar actividades que se realizaran para eliminar esta condición en el próximo MP. 				

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 7-4: Ficha del estado técnico de la bomba multietapas N° 2

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO AUCA BL-61		BL-61 AUCA 12/01/2016	
Área: Mantenimiento		Sistema: Reinyección de Agua			
Código:PCF-0939/PCF-0917					
EQUIPO: BOMBA MULTIETAPAS N° 2					
INSPECCIONAR	MÉTODO	BUENO	MALO	REGULAR	
Estado de pernos y anclaje	Tacto-Visual	X			
Estado del housing	Visual	X			
Sistema de succión	Visual	X			
Sistema de descarga	Visual	X			
Estado válvula de mariposa de la succión	Visual-Tacto			X	
Estado válvula check descarga	Visual-Tacto	X			
Estado válvula Block descarga	Visual-Tacto	X			
MANTENIMIENTO RECOMENDADO		FOTOGRAFIA DEL EQUIPO			
<p>– Continuar realizando mantenimiento rutinario y las inspecciones periódicas revisando el ítem o parámetro condición de estado de válvula de mariposa de la succión, planificar y programar actividades que se realizaran para eliminar esta condición en el próximo MP.</p>					
					

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 8-4: Ficha del estado técnico del sistema de instrumentación y control unidad N°1.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO AUCA BL-61			BL-61 AUCA 12/01/2016	
Área: Mantenimiento		Sistema: Reinyección de Agua				
Tipo: Murphy VS2				Marca: Baker Hughes		
Código N/A						
EQUIPO: INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA UNIDAD N° 1						
INSPECCIONAR	MÉTODO	BUENO	MALO	REGULAR		
Estado de pernos y anclaje	Tacto-Visual	X				
Estado de las cajas	Visual	X				
Estado de las conexiones eléctricas	Visual			X		
Estado de los instrumentos de medición	Visual-Prueba	X				
Estado de los elementos de accionamiento	Visual-Prueba	X				
MANTENIMIENTO RECOMENDADO		FOTOGRAFIA DEL EQUIPO				
<p>– Continuar realizando mantenimiento rutinario y las inspecciones periódicas revisando el ítem o parámetro condición de estado de las conexiones eléctricas, planificar y programar actividades que se realizaran para eliminar esta condición en el próximo MP.</p>		 				

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 9-4: Ficha del estado técnico del sistema de instrumentación y control unidad N° 2.

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO AUCA BL-61		BL-61 AUCA 12/01/2016	
Área: Mantenimiento		Sistema: Reinyección de Agua			
Tipo: Murphy VS2			Marca: Baker Hughes		
Código N/A					
EQUIPO: INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA UNIDAD N° 2					
INSPECCIONAR	MÉTODO	BUENO	MALO	REGULAR	
Estado de pernos y anclaje	Tacto-Visual	X			
Estado de las cajas	Visual	X			
Estado de las conexiones eléctricas	Visual	X			
Estado de los instrumentos de medición	Visual-Prueba	X			
Estado de los elementos de accionamiento	Visual-Prueba	X			
MANTENIMIENTO RECOMENDADO		FOTOGRAFIA DEL EQUIPO			
<p>– Continuar realizando mantenimiento rutinario y las inspecciones periódicas revisando el ítem o parámetro condición de estado de las conexiones eléctricas, planificar y programar actividades que se realizaran para eliminar esta condición en el próximo MP.</p>					

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

4.4.5. Determinación del plan de mantenimiento para los equipos de bombeo del sistema de reinyección campo Auca Bloque 61.

Para el desarrollo del plan de mantenimiento se parte del análisis de la tasa de fallos, describiendo y analizando las tareas, el tipo de mantenimiento, la frecuencia, la evaluación de factibilidad y el responsable de realizar el mantenimiento.

Tabla 10-4: Motor eléctrico 1.

		PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA REINYECCION DE AGUA			BLOQUE-61 AUCA Versión: 1		
Elabora: ARREGUI, César, 2016.					Fecha de elaboración: 11-04-2016		
Área: Mantenimiento					Locación: Campo Auca Bloque 61		
Componente: Motor Eléctrico N° 1					Código del equipo: MEL-3245		
N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
1	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación.	Alta vibración	Daño del estriado del acople del motor, por desalineación, ajustes. Error de instalación.	Mantenimiento predictivo	Realizar una medida y análisis de vibraciones verificar que no excedan los límites máximos (0,25 in/s), destapar tapa del acople, realizar una inspección visual del estriado del acople.	Realizar el cambio antes del (MTBF 7336,76 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
2	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Ruido anormal durante la operación con carga	Rotura del ventilador debido a rozamientos por error de instalación.	Mantenimiento predictivo	Inspección visual del sistema de ventilación del motor, realizar un análisis de vibraciones verificar que no excedan los límites máximos (0,25 in/s).	Realizar el cambio antes del (MTBF 7336,76 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
3	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración.	Por error de instalación y anclaje rotura de pata de motor	Mantenimiento predictivo	Chequeo de alineación motor-cámara, realizar una medida y análisis de vibraciones verificar que no excedan los límites máximos (0,25 in/s).	Realizar inspección y reparación antes del (MTBF 7336,76_h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico

Continúa....

N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
4	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración.	Daño de rodamiento por desgaste esperado normal	Mantenimiento predictivo	Realizar una medida y análisis de vibraciones verificar que no excedan los límites máximos (0,25 in/s), programar cambio antes del MTBF según condición.	Realizar el cambio antes del (MTBF 7336,76 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 11-4: Cámara de empuje N. 1

		PLAN DE MANTENIMIENTO			BL-61 AUCA Versión: 1		
Elabora: ARREGUI, César, 2016.		SISTEMA DE REINYECCION DE AGUA			Fecha de elaboración: 11-04-2016		
Área: Mantenimiento					Locación: Campo Auca Bloque 61		
Componente: Cámara de empuje N° 1					Código del equipo: TCH-0010		
N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
1	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación.	Alta vibración	Soltura mecánica, rotura de perno de sujeción desnivel de base de la cámara	Mantenimiento predictivo	Realizar una medida y análisis de vibraciones verificar que no excedan los límites máximos (0,25 in/s), inspección visual del anclaje.	Realizar el revisión y/o cambio antes del (MTBF 2886,38 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
2	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga de agua del proceso	Falla del o ring de la cámara de empuje.	Mantenimiento predictivo	Verificar condiciones de operación de la cámara, realizar un monitoreo termográfico de la cámara y verificar que no exista presencia de puntos calientes.	Realizar el cambio antes del (MTBF 2886,38 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
3	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Sobrecalentamiento	Problemas con el sistema de enfriamiento alta temperatura de los rodamientos	Mantenimiento predictivo	Realizar un monitoreo termografico para chequear temperatura de los componentes y verificar que no exista presencia de puntos calientes. En caso de requerirlo reemplazar los rodamientos.	Realizar el cambio antes del (MTBF 2886,38 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico


Continúa....

N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
4	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga de aceite de la cámara.	Desgaste por uso del retenedor lado bomba de la cámara.	Mantenimiento predictivo	Realizar un monitoreo termográfico con equipo de termografía a las válvulas de descarga check y block, ya que será un indicador del estado en que se encuentra.	Realizar el cambio antes del (MTBF 2886,38	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
5	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga excesiva de agua de proceso	Por sobrepresión en la cámara por retroceso de agua, daño del sello mecánico.	Mantenimiento predictivo	Realizar una inspección con equipo de termografía a las válvulas de descarga check y block, ya que será un indicador del estado en que se encuentra.	Realizar el cambio antes del (MTBF 2886,38	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
6	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración	Desalineación en el anclaje, por desnivelación de la base.	Mantenimiento predictivo	Chequeo con equipo de alineación motor-cámara-bomba. Revisar estado de la base reparar si es necesario.	Realizar revisión o reparación antes del (MTBF 2886,38	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 12-4: Bomba multietapas N. 1

		PLAN DE MANTENIMIENTO			BL-61 AUCA Versión: 1		
Elabora: ARREGUI, César, 2016.		SSISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA			Fecha de elaboración: 11-04-2016		
Área: Mantenimiento					Locación: Campo Auca Bloque 61		
Componente: Bomba multietapas 1					Código del equipo: PCF-0916/PCF-0937		
Nº Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
1	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración	Desgaste esperado normal del coupling de las bombas.	Mantenimiento predictivo	Realizar un monitoreo de vibraciones verificar que no excedan los límites máximos (0,25 in/s)	Realizar revisión o reparación antes del (MTBF 4526,64	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
2	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	No convierte energía cinética en potencial.	Adherencias impulsores de la bomba taponados.	Mantenimiento predictivo	Realizar una inspección con equipo de termografía para chequear temperatura de los impulsores de la bomba y verificar que no exista presencia de puntos calientes.	Realizar revisión o reparación antes del (MTBF 4526,64	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
3	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Salida por debajo de especificaciones.	Cavitación, entrada de aire a la succión de la bomba	Mantenimiento predictivo	Realizar una inspección con equipo de termografía para chequear temperatura de los impulsores de la bomba verificar que no exista presencia de puntos calientes o partes con recalentamiento.	Realizar revisión o reparación antes del (MTBF 4526,64 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico

Continúa....

N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
4	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración	Error de mantenimiento al momento de dar torque a la grampa de sujeción.	Mantenimiento predictivo	Realizar una medida y análisis de vibraciones verificar que no excedan los límites máximos (0,25 in/s)	Realizar revisión o reparación antes del (MTBF 4526,64 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 13-4: Instrumentación y Control N° 1

		PLAN DE MANTENIMIENTO			BL-61 AUCA Versión: 1		
Elabora: ARREGUI, César, 2016.		SSISTEMA DE REINYECCION DE AGUA			Fecha de elaboración: 11-04-2016		
Área: Mantenimiento					Locación: Campo Auca Bloque 61		
Componente: Instrumentación y control					Código del equipo: N/A		
N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
1	No arranca equipo	Salida incorrecta errada	Error de funcionamiento	Mantenimiento predictivo	Inspeccionar para para verificar la condición del sensor, realizar la prueba de operatividad. Realizar inspección con equipo de termografía en busca de puntos calientes y conexiones flojas.	Revisar pruebas y tareas antes del (TMEF 4272 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
2	No arranca equipo	Falla cuando se requiere.	Error de funcionamiento	Mantenimiento predictivo	Inspeccionar para para verificar la condición de las alarmas, realizar la prueba de operatividad. Realizar inspección con equipo de termografía en busca de puntos calientes y conexiones flojas.	Revisar pruebas y tareas antes del (TMEF 4272 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
3	No arranca equipo	Falla al arranque	Error de funcionamiento	Mantenimiento predictivo	Inspeccionar para para verificar la condición de las alarmas, realizar la prueba de operatividad.	Revisar pruebas y tareas antes del (TMEF 4272 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico


Continúa....

N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
4	No arranca equipo	Falla cuando se requiere.	Error de funcionamiento	Mantenimiento predictivo	Realizar inspección con equipo de termografía en busca de puntos calientes y conexiones flojas. Realizar pruebas de funcionamiento.	Revisar pruebas y tareas antes del (TMEF 4272 h)	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 14-4: Tabla. Motor eléctrico 2

		PLAN DE MANTENIMIENTO			BL-61 AUCA Versión: 1		
Elabora: ARREGUI, César, 2016.		SISTEMA DE REINYECCION DE AGUA			Fecha de elaboración: 11-04-2016		
Área: Mantenimiento					Locación: Campo Auca Bloque 61		
Componente: Motor Eléctrico N° 2					Código del equipo: MEL-3246		
N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
1	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración	Desalineación se corrige pata floja de base del motor.	Mantenimiento predictivo	Realizar una inspección con equipo de alineación y verificar estado de la base, patas y sujeciones del motor.	Revisar o reparar antes del TMEF 5325,20 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
2	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración, ruido anormal durante la operación con carga	Desgaste del coupling	Mantenimiento predictivo	Realizar una medida y análisis de vibraciones verificar que no excedan los límites máximos (0,25 in/s), destapar tapa del coupling para realizar un inspección visual del estado de las estrías del coupling.	Revisar o reparar antes del TMEF 5325,20 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
3	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración.	Desbalance por daño del ventilador.	Mantenimiento predictivo	Realizar una medida y análisis de vibraciones verificar que no excedan los límites máximos (0,25 in/s), inspección del ventilador.	Revisar o reparar antes del TMEF 5325,20 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico


Continúa....

N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
4	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Alta vibración.	Daño de rodamiento por desgaste esperado normal	Mantenimiento predictivo	Realizar una medida y análisis de vibraciones verificar que no excedan los límites máximos (0,25 in/s), programar cambio antes del MTBF según condición.	Revisar o reparar antes del TMEF 5325,20 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 15-4: Cámara de empuje N. 2

		PLAN DE MANTENIMIENTO			BL-61 AUCA Versión: 1		
Elabora: ARREGUI, César, 2016.		SISTEMA DE REINYECCION DE AGUA			Fecha de elaboración: 11-04-2016		
Área: Mantenimiento					Locación: Campo Auca Bloque 61		
Componente: Cámara de empuje N° 2					Código del equipo: TCH-0075		
N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
1	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Sobrecalentamiento	Insuficiente recirculación del aceite del sistema de enfriamiento.	Mantenimiento predictivo	Inspeccionar con equipo de termografía con el objeto de chequear temperatura de los componentes del sistema de enfriamiento y verificar que no exista presencia de puntos calientes.	Inspeccionar antes del TMEF 3401,72 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
2	No transmite movimiento	Parada por rotura de algún componente interno de la cámara de empuje.	Error de funcionamiento rozamientos o roturas de los componentes internos.	Mantenimiento predictivo	Realizar una inspección con equipo de termografía para chequear temperatura de los componentes y verificar que no exista presencia de puntos calientes, ya que estos serán indicadores del estado que se encuentran los mismos.	Realizar el cambio o reparación antes del TMEF 3401,72 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
3	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga externa de aceite.	Falla de retenedor y kit de oring	Mantenimiento predictivo	Inspección con equipo de termografía para chequear temperatura de los componentes y verificar que no exista	Realizar el cambio antes del TMEF 3401,72 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico


Continúa....

N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
					presencia de puntos calientes por capacidad inadecuada ya que estos serán indicadores del estado que se encuentran las mismas.		
4	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Sobrecalentamiento del sistema de enfriamiento de la cámara	Error de fabricación fisura de la manguera de recirculación de aceite.	Mantenimiento predictivo	Inspección con equipo de termografía para chequear temperatura de los componentes y verificar que no exista presencia de puntos calientes por capacidad inadecuada ya que estos serán indicadores del estado que se encuentran las mismas.	Realizar el cambio MTBF 3401,72 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
5	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga excesiva de aceite.	Relacionadas al mantenimiento exceso de aceite.	Mantenimiento predictivo	Realizar inspecciones con equipo de termografía con el objetivo de chequear fugas y puntos calientes.	Realizar el cambio MTBF 3401,72 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 16-4: Bomba multietapas N° 2

		PLAN DE MANTENIMIENTO			BL-61 AUCA Versión: 1		
Elabora: ARREGUI, César, 2016.		SSISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA			Fecha de elaboración: 11-04-2016		
Área: Mantenimiento					Locación: Campo Auca Bloque 61		
Componente: Bomba multietapas 1					Código del equipo: PCF-0916/PCF-0937		
N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
1	No transmite movimiento	Parada por rotura del eje de la primera bomba.	Error de funcionamiento de roturas, rozamientos	Mantenimiento predictivo	Realizar una inspección con equipo de termografía con el objetivo de chequear su temperatura de los impulsores, eje y housing de la bomba y verificar que no exista presencia de puntos calientes, ya que estos serán indicadores del estado en que se encuentre.	Realizar revisión o reparación antes del TMEF 3297,54 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
2	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	No convierte energía cinética en potencial.	Adherencias impulsores de la bomba taponados, giro duro.	Mantenimiento predictivo	Realizar una inspección con equipo de termografía para chequear temperatura de los impulsores de la bomba y verificar que no exista presencia de puntos calientes. Planificar un flusing limpieza química interna de componentes de la bomba.	Realizar revisión o limpieza antes del TMEF 3297,54 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico


Continúa....

Nº Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
3	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Ruido anormal en el coupling y los estriados de los ejes de las bombas.	Desgaste y daño estrías del coupling de la bomba.	Mantenimiento predictivo	Realizar una medida y análisis de vibraciones verificar que no excedan los límites máximos (0,25 in/s), inspección visual estado del coupling.	Realizar revisión o cambio antes del TMEF 3297,54	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
4	No eleva presión, no convierte energía cinética en potencial.	Salida por debajo de especificaciones	Parámetro desviado, baja presión de descarga de la bomba	Mantenimiento predictivo.	Realizar una inspección con equipo de termografía para chequear temperatura de los impulsores de la bomba y verificar que no exista presencia de puntos calientes.	Realizar revisión antes del MTBF 3297,54 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
5	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga de agua por intake de entrada	Daño del oring por sobrepresión	Mantenimiento predictivo.	Realizar una inspección con equipo de termografía a las válvulas de descarga check y block, ya que será un indicador del estado en que se encuentra.	Realizar revisión o cambio antes del MTBF 3297,54 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 17-4: Instrumentación y Control N° 2

		PLAN DE MANTENIMIENTO			BL-61 AUCA Versión: 1		
Elabora: ARREGUI, César, 2016.		SSISTEMA DE REINYECCION DE AGUA			Fecha de elaboración: 11-04-2016		
Área: Mantenimiento					Locación: Campo Auca Bloque 61		
Componente: Instrumentación y control					Código del equipo: N/A		
N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
1	No arranca equipo	Salida incorrecta errada	Error de funcionamiento del sensor de presión.	Mantenimiento predictivo	Inspeccionar para para verificar la condición del sensor, realizar la prueba de operatividad. Realizar inspección con equipo de termografía en busca de puntos calientes diferenciales de temperatura y conexiones flojas.	Revisar pruebas y tareas antes del TMEF 3749 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
2	No arranca equipo	Falla cuando se requiere.	Error de funcionamiento del sensor de presión.	Mantenimiento predictivo	Inspeccionar para para verificar la condición del sensor, realizar la prueba de operatividad. Realizar inspección con equipo de termografía en busca de puntos calientes diferenciales de temperatura y conexiones flojas.	Revisar pruebas y tareas antes del TMEF 3749 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
3	No arranca equipo	Falla al arranque	Error de funcionamiento	Mantenimiento predictivo			

Continúa....

N° Falla	Falla funcional	Modo de Falla	Causa	Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Frecuencia de tarea de mantenimiento nueva	Responsable
			activación		Inspeccionar para para verificar la condición de las alarmas, realizar la prueba de operatividad. Realizar termografía en busca de puntos calientes y conexiones flojas para eliminar la condición.	Revisar pruebas y tareas antes del TMEF 3749 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico
4	No arranca equipo	Operación incorrecta esporádica.	Error de funcionamiento falla activación de sensor.	Mantenimiento predictivo	Realizar inspección con equipo de termografía en busca de puntos calientes y conexiones flojas. Realizar pruebas de funcionamiento.	Revisar pruebas y tareas antes del TMEF 3749 h	Ingeniero predictivo/Supervisor mecánico

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

4.5. Comprobación de hipótesis

4.5.1. Planteamiento de la hipótesis.

H₀: La propuesta de un plan de mantenimiento basado en un estudio de fiabilidad, en función de la tasa de fallos, de las unidades de bombeo HPS del sistema de reinyección de agua NO permitirá pronosticar el comportamiento futuro de los equipos para prevenir paros imprevistos en los mismos a través de la toma de decisiones basada en el tiempo medio entre fallos y los índices de fiabilidad.

H₁: La propuesta de un plan de mantenimiento basado en un estudio de fiabilidad, en función de la tasa de fallos, de las unidades de bombeo HPS del sistema de reinyección de agua SI permitirá pronosticar el comportamiento futuro de los equipos para prevenir paros imprevistos en los mismos a través de la toma de decisiones basada en el tiempo medio entre fallos y los índices de fiabilidad.

La comprobación de la hipótesis de h1 (alternativa) se realizó por el método experimental dentro del cual se encuentra el proceso de comparación.

4.5.2. Comparación de valores.

Se utiliza dos tablas para comparar los valores calculados antes de la aplicación del plan de mantenimiento basado en el TMEF y de un análisis posterior al mismo.

Valores de fiabilidad de los equipos de bombeo del sistema de reinyección de agua obtenidos antes de aplicar el plan de mantenimiento durante el periodo 2010 - 2014.

Tabla18-4: Parámetros e índices de fiabilidad de las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS durante el periodo 2010-2014.

Parámetros e índices	Distribución estadística Weibull						Distribución estadística exponencial	
	Sistema de potencia (motor eléctrico)		Sistema de transmisión (cámara de empuje)		Sistema de bombeo (bomba multietapas)		Sistema de instrumentación y control	
	Motor eléctrico 1	Motor eléctrico 2	Cámara de empuje 1	Cámara de empuje 2	Bomba multietapas 1	Bomba multietapas 2	Instrumentación y control 1	Instrumentación y control 2
Parámetro de forma β	0,67	0,65	1,94	1,10	1,47	1,49	-	-
Parámetro de vida característica α	5796,14	4206,98	3252,63	3525,47	5014,00	3652,57	-	-
Tiempo Medio entre Fallos TMEF [h]	7336,76	5325,20	2886,38	3401,72	4526,64	3297,54	4272	3749
Tasa de fallos λ [1/h]	$1,07 \times 10^{-4}$	$1,42 \times 10^{-4}$	$2,41 \times 10^{-4}$	$3,11 \times 10^{-4}$	$2,79 \times 10^{-4}$	$3,88 \times 10^{-4}$	$2,34 \times 10^{-4}$	$2,66 \times 10^{-4}$
Fiabilidad	31%	31,17%	45,24%	38,23%	42,30%	42,37%	36,78%	36,78%
Infiabilidad	69%	68,83%	54,76%	61,77%	57,70%	57,63%	63,21%	63,21%
Densidad de probabilidad de fallos $f(t)$ [1/h]	$3,32 \times 10^{-5}$	$4,44 \times 10^{-5}$	$5,33 \times 10^{-4}$	$1,19 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-4}$	$1,64 \times 10^{-4}$	$8,61 \times 10^{-5}$	$9,81 \times 10^{-5}$

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Valores de fiabilidad de los equipos obtenidos después de aplicar el plan de mantenimiento desde el año 2015 hasta la presente fecha.

Tabla 19-4: Parámetros e índices de fiabilidad de las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS

Parámetros e índices	Distribución estadística Weibull						Distribución estadística exponencial	
	Sistema de potencia (motor eléctrico)		Sistema de transmisión (cámara de empuje)		Sistema de bombeo (bombas multietapas)		Sistema de instrumentación y control	
	Motor eléctrico 1	Motor eléctrico 2	Cámara de empuje 1	Cámara de empuje 2	Bomba multietapas 1	Bomba multietapas 2	Instrumentación y control 1	Instrumentación y control 2
Parámetro de forma β	0,72	0,66	1,87	1,10	1,32	1,18	-	-
Parámetro de vida característica α	7459,09	6006,15	3683,65	3527,43	6646,98	5138,06	-	-
Tiempo Medio entre Fallos TMEF [h]	9441,72	7602,59	3268,87	3903,62	6139,15	4834,31	5745,6	5327,2
Tasa de fallos λ [1/h]	$9,70 \times 10^{-5}$	$1,14 \times 10^{-4}$	$3,94 \times 10^{-4}$	$3,11 \times 10^{-4}$	$3,11 \times 10^{-4}$	$2,10 \times 10^{-4}$	$1,74 \times 10^{-4}$	$1,87 \times 10^{-4}$
Fiabilidad	37,23%	39,71%	55,96%	42,26%	48,26%	55,30%	47,55%	49,47%
Infiabilidad	62,77%	60,29%	44,04%	61,74%	51,74%	44,70%	52,45%	50,53%
Densidad de probabilidad de fallos $f(t)$ [1/h]	$3,6 \times 10^{-5}$	$4,55 \times 10^{-5}$	$2,21 \times 10^{-5}$	$1,19 \times 10^{-4}$	$1,19 \times 10^{-4}$	$1,17 \times 10^{-4}$	$8,25 \times 10^{-5}$	$6,90 \times 10^{-5}$

Se puede comparar los valores de fiabilidad y se observa un aumento en los porcentajes de fiabilidad de los equipos lo cual se acepta la Hipótesis Alternativa H_1

4.5.3. Comprobación de la hipótesis usando el método de coeficiente de correlación de Pearson.

Planteamiento de la hipótesis

- Hipótesis de partida H_0 : La fiabilidad de los equipos de bombeo de reinyección SI depende del TMEF.
- Hipótesis alternativa H_a : La fiabilidad de los equipos de bombeo de reinyección NO depende del TMEF.

Para comprobar la hipótesis se realizó el análisis entre dos variables cuantitativas usando el método de coeficiente de correlación de Pearson.

Se recogen los datos del TMEF y de la fiabilidad $R(t)$ de los equipos del sistema de bombeo de reinyección de agua

Tabla 20-4: Valores de x_i TMEF y la de y_i fiabilidad

Equipo	Tiempo medio entre fallas (xi)	Fiabilidad (yi)
Motor eléctrico 1	9441,72	0,3723
Motor eléctrico 2	7602,59	0,3971
Cámara de empuje 1	3268,87	0,5596
Cámara de empuje 2	3403,62	0,3826
Bomba multietapas 1	6139,15	0,4826
Bomba multietapas 2	4834,31	0,553
Instrumentación y control 1	5745,6	0,4755
Instrumentación y control 2	5327,2	0,4947
Sumatoria	45763,06	3,7174

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Tabla 21-4: Datos de media y media

xmedia	5720,3825
ymedia	0,464675

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

4.5.4. *Obtención del diagrama de dispersión.*

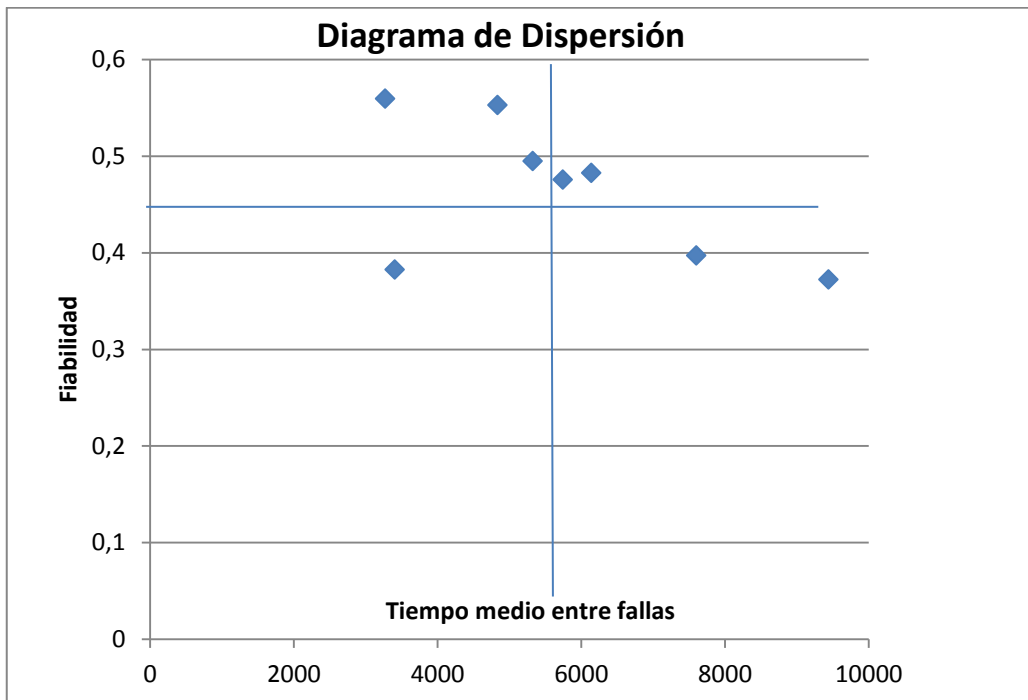


Figura 2-4. Diagrama de dispersión Tiempo medio entre fallas vs Fiabilidad

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Se puede observar que existe una dependencia estocástica que indica que la variable xi depende de la variable yi directa, es decir si el tiempo medio entre fallas aumenta la fiabilidad aumenta.

4.5.5. *Cálculo del valor de covarianza mediante la fórmula:*

$$S_{xy} = \frac{\sum (xi - xmedia)(yi - ymedia)}{n}$$

Tabla 22-4: Valores de xi TMEF y la de yi fiabilidad

(xi-xmedia)	(yi-ymedia)	(xi-xmedia) (yi-ymedia)
3721,3375	-0,06305	-234,630329
7602,1546	0,3971	3018,81561
3268,87	0,5596	1829,25965
3403,62	0,3826	1302,22501
6139,15	0,4826	2962,75379
4834,31	0,553	2673,37343
5745,6	0,4755	2732,0328
5327,2	0,4947	2635,36584
$\Sigma(xi-xmedia)(yi-ymedia)$		16810,0559

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

$$S_{xy} = \frac{16810,0559}{8}$$

$$S_{xy}(\text{experimental}) = 2101,25699$$

4.5.6. Interpretación de la covarianza.

$S_{xy} > 0$ Si la relación es directa la mayoría de los puntos aporta sumandos positivos y la covarianza es positiva.

$S_{xy} < 0$ Si la relación es inversa la mayoría de los puntos aporta sumandos negativos y la covarianza es negativa.

$S_{xy} = 0$ Si no hay relación se compensan los sumandos positivos y los negativos y la covarianza es aproximadamente cero.

4.5.7. Determinación de la conclusión.

Se puede corroborar que $(2101,25699 > 0)$ la covarianza es mayor al valor cero, cae en la zona de rechazo de la hipótesis alternativa H_a , aceptando la hipótesis de partida H_0 , entonces la fiabilidad de los equipos si dependen del TMEF.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

Se elaboró un plan de mantenimiento empleando metodologías estadísticas para el análisis de la fiabilidad utilizando la distribución de Weibull y Exponencial en base al análisis de la función tasa de fallos $\lambda(t)$, de tal manera que se ajustaron las frecuencias y tareas de mantenimiento en base al tiempo medio entre fallos (TMEF) de las unidades de bombeo del sistema de reinyección de agua según su contexto operacional.

Este plan de mantenimiento no solo contribuirá a incrementar la fiabilidad sino también proporcionará una herramienta para la disminución de reparaciones de elevado costo mediante el uso de los parámetros e índices de fiabilidad los cuales ayudan aprovechar al máximo la vida útil alargando los tiempos medios entre fallas del sistema.

Al comparar los resultados de los parámetros de forma (β) y vida característica (α) de Weibull, el tiempo medio entre fallas obtenidos mediante el método gráfico de papel de Weibull y comprobado a través del software Fiasoft se verificó su similitud consiguiendo la suficiente confianza para implementar el modelo propuesto.

El estudio de los datos de fallas que constan en el plan de mantenimiento reflejan los puntos más importantes a tener en cuenta los cuales permitirán reducir los tiempos y tareas con el seguimiento de rutinas de mantenimiento predictivo de las cuales se detectarían con mayor rapidez las fallas que puedan presentarse, se trata de una experiencia pionera en el mantenimiento esto es para tener una idea de cómo repercute cada falla sobre el sistema de reinyección de agua.

El estudio de las fallas a través de medios estadísticos permitirán tomar decisiones proactivas basadas en datos históricos y determinarán su aplicabilidad en el plan de mantenimiento propuesto, se trata de una experiencia pionera en el mantenimiento esto es para tener una idea de cómo repercute cada falla sobre el sistema de reinyección de agua.

Recomendaciones.

Implementar este plan de mantenimiento y estandarizar las fallas funcionales de los equipos de bombeo de reinyección de agua en base a la norma ISO 14224: 2006, ingresar diariamente la información al software de gestión de mantenimiento Maximo Oil&Gas, los cuales servirán de base para el análisis de datos a futuro.

Realizar un seguimiento continuo al nuevo plan de mantenimiento propuesto con el fin de mejorarlo y adaptarlo en base a un análisis real del contexto operativo, pero para ello se requieren evaluaciones periódicas y continuas a largo plazo.

Dar estricto cumplimiento a la periodicidad de cada una de las tareas del plan de mantenimiento propuesto de manera que se puedan evitar reparaciones cuyas repercusiones se dan en tiempos de paro y costos elevados.

Capacitar al personal de mantenimiento mediante cursos o talleres al personal de mantenimiento, sobre temas de interés se adjunta plan de capacitación requerido para personal técnico del Campo Auca Bloque 61.

Elaborar un inventario óptimo de repuestos de piezas y partes necesarios en la bodega en base al contexto operativo actual del sistema de bombeo de reinyección de agua del campo Auca que permita una logística adecuada para reparación de las fallas más comunes y repetitivas en la operación del sistema.

Tabla 22-4: Plan de capacitación para el departamento de Mantenimiento del campo Auca BL-61 año 2016.

PLAN DE CAPACITACIÓN PARA EL PERSONAL DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO CAMPO AUCA BLOQUE 61											
N°	Tema	Duración	Dirigido a	23-05-16	06-06-16	15-06-16	29-06-16	06-07-16	20-07-16	01-08-16	15-08-16
1	Curso sobre norma ISO 14224	6 horas	Supervisor, técnicos y ayudantes mecánicos	TURNO 1							
		6 horas	Supervisor, técnicos y ayudantes mecánicos					TURNO 2			
2	Determinación de distribución, tasa de falla, y fiabilidad a partir de datos de campo de las bombas de reinyección de agua	8 horas	Supervisor y técnicos mecánicos		TURNO 1						
		8 horas	Supervisor y técnicos mecánicos						TURNO 2		
3	Importancia del mantenimiento predictivo dentro de las actividades del plan de mantenimiento del sistema de reinyección de agua en el contexto de la fiabilidad	10 horas	Supervisor y técnicos mecánicos			TURNO 1					
		10 horas	Supervisor y técnicos mecánicos							TURNO 2	
4	Codificación e ingreso de datos de modos de falla en ordenes de trabajo según norma ISO 14224 al sistema Maximo Oil&Gas.	4 horas	Supervisor y técnicos mecánicos					TURNO 1			

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

BIBLIOGRAFÍA

ESPAÑA. NT. UNE-EN 13306. (2002). Terminología del mantenimiento. Terminología del mantenimiento. Madrid, España. pp. 8-19.

GALVÁN, B., SOSA, A., CARRIÓN, A., & MARTÍNEZ, N. (2014). Fiabilidad. Valencia, España. pp 7-48

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento Planeación, Ejecución y Control. Mexico, pp 96-194

IBM. Software “Máximo para Oil&Gas”.

<http://www-03.ibm.com/software/products/es/maximo-for-oil-and-gas>

2015-09-20

ISO 14224. (2006-12-15). Petroleum, petrochemical and natural gas industries-collection and exchange of reliability and maintenance data for Equipment. (Vol. Second Edition). Ginebra, Suiza

FIASOFT. SOFTWARE “FIASOFT VERSIÓN 1.0.0”, Software para determinar los índices de fiabilidad en maquinaria y equipos industriales.

SEXTO, L.F, (2015). Ingeniería de la fiabilidad. Italia. pp 2-61

ANEXOS

ANEXO A

Registro ordenes de trabajo correctivos generadas por el sistema o software Maximo Oil&Gas bombas de reinyección de agua HPS N° 1 y 2

Work Order	Description	Tag Pam	Location	Problem	Status Date	TTR (h)
OT-140345477	CME-MEL REEMPLZADO DEL COUPLING ALINEACION DE EJES MOTOR-CAMARA DE EMPUJE	MEL-3245	ACA-055-BRA-SBRA-01	VIB	28/07/12 08:30 AM	3
OT-140700032	CME_MEL CAMBIO DEL VENTILADOR Y REALINEAMIENTO DE BASE DEL MOTOR.	MEL-3245	ACA-055-BRA-SBRA-01	NOI	10/08/12 11:40 PM	4
OT-141147520	CM_MEL ROTURA DE PATA DEL MOTOR POR SOLTURA MECÁNICA.	MEL-3245	ACA-055-BRA-SBRA-01	VIB	10/11/1317:32 PM	3
OT-150062793	CM-MEL CAMBIO DE RODAMIENTOS DEL MOTOR	MEL-3245	ACA-055-BRA-SBRA-01	VIB	15/12/1307:55 PM	720
OT-150380648	CME_TCH MANTENIMIENTO CORRECTIVO POR SOLTURA MECANICA EN BASE DE LA CAMARA DE EMPUJE	TCH-0010	ACA-055-BRA-SBRA-01	VIB	17/07/2012 07:21:00 AM	10
OT-150380648	CME_TCH CAMBIO DEL KIT DE ORING EN LA CÁMARA DE EMPUJE	TCH-0010	ACA-055-BRA-SBRA-01	ELP	15/12/2013 9:30 AM	3
OT-150884716	CME-TCH MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LA CAMARA DE EMPUJE	TCH-0010	ACA-055-BRA-SBRA-01	OHE	17/04/2013 8:30 AM	2

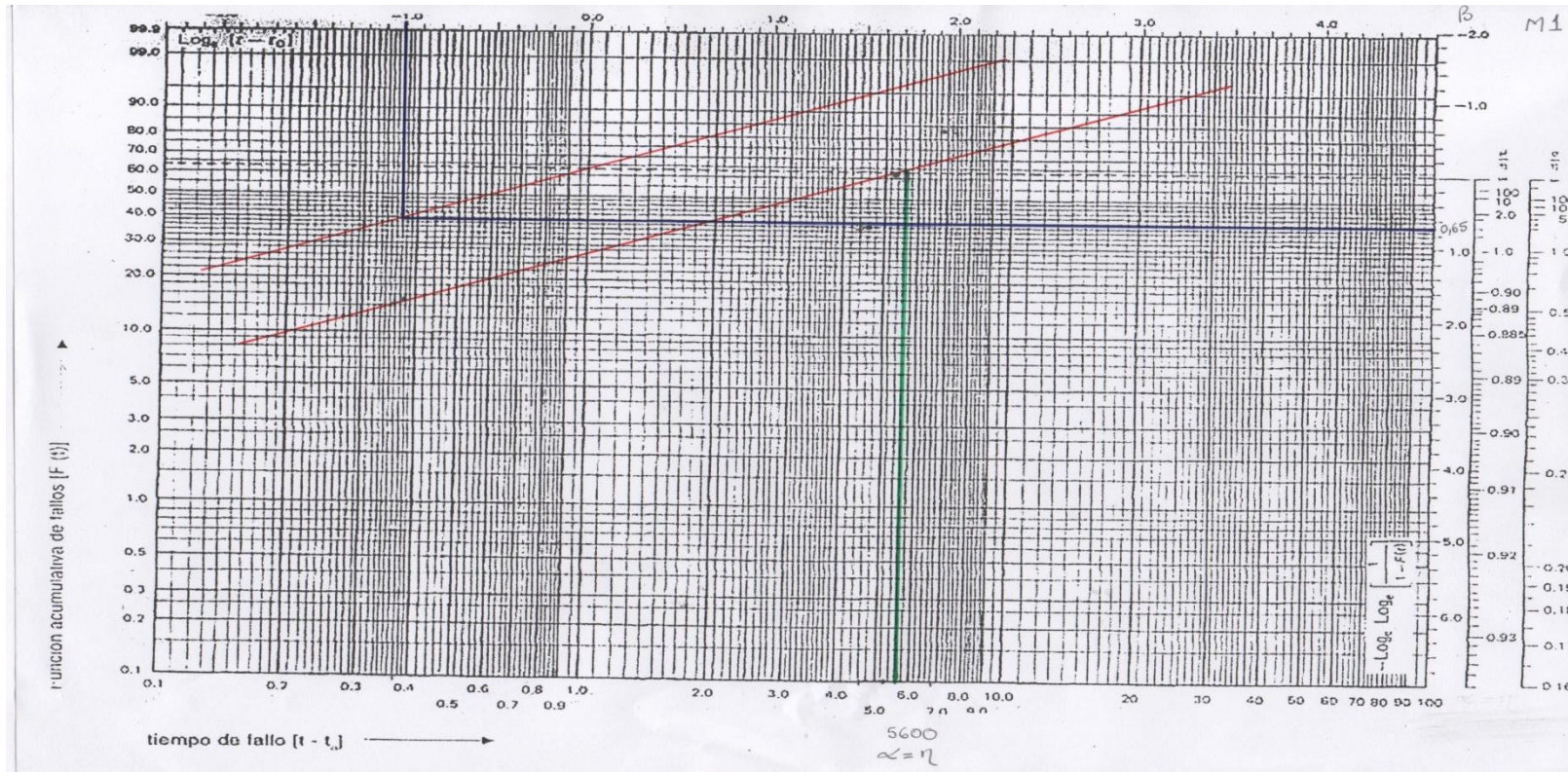
OT-150884757	CME-TCH CAMBIO DE RETENEDOR DE ACEITE LADO BOMBA DE LA CÁMARA DE EMPUJE.	TCH-0010	ACA-055-BRA-SBRA-01	ELU	14/12/2013 13:30 PM	3
OT-150923505	CME-TCH CAMBIO DEL SELLO MECÁNICO	TCH-0010	ACA-055-BRA-SBRA-01	ELP	01/05/14 10:41 AM	7
OT-150884716	CME-TCH REPARACION DE BASE DE LA CÁMARA DE EMPUJE POR DESNIVELACIÓN.	TCH-0010	ACA-055-BRA-SBRA-01	VIB	17/11/1408:25 AM	2
OT-151048758	CME-PCF CAMBIO DE COUPLING DE LA BOMBA	PCF-0916 PCF-0937	ACA-055-BRA-SBRA-01	VIB	04/02/12 08:04 AM	4
OT-150763319	CME-PCF REVISION DE INTAKE DE SUCCIÓN POR OBSTRUCCION DE LOS IMPULSORES.	PCF-0916 PCF-0937	ACA-055-BRA-SBRA-01	PDE	18/02/12 07:46 AM	24
OT-150770256	CME-PCF CAMBIO DE GRAMPA DE SUJECCION DE CUERPO DE BOMBA	PCF-0916 PCF-0937	ACA-055-BRA-SBRA-01	VIB	27/12/1414:16 PM	3
OT-150880986	CME-REVISION Y REPARACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN	N/A	ACA-055-BRA-SBRA-01	SPO	27/12/1414:16 PM	2
OT-150664536	CME-CALIBRACION DE LAS ALARMAS DE PROTECCIÓN.	N/A	ACA-055-BRA-SBRA-01	ERO	17/02/1214:16 PM	2
OT-150653990	CME-REVISIÓN Y REPARACIÓN DE ALARMA DE BAJA SUCCIÓN	N/A	ACA-055-BRA-SBRA-01	ERO	07/12/1412:16 AM	1
OT-140683386	CME-MEL REPARACIÓN DE PATA FLOJA ALINEACIÓN MOTOR CÁMARA DE EMPUJE	MEL-3246	ACA-055-BRA-SBRA-02	VIB	16/08/1211:16 AM	3
OT-140693227	CME-MEL REEMPLAZO DEL COUPLING, REALINEACIÓN MOTOR-CÁMARA EMPUJE	MEL-3246	ACA-055-BRA-SBRA-02	VIB	23/02/1414:16 PM	3
OT-140999256	CME-MEL CAMBIO DEL VENTILADOR	MEL-3246	ACA-055-BRA-SBRA-02	VIB	26/05/1414:16 PM	4
OT-141153970	CME-MEL REEMPLAZO DE RODAMIENTOS DEL MOTOR	MEL-3246	ACA-055-BRA-SBRA-02	VIB	10/06/1514:16 PM	936
OT-141153983	CME-TCH CORRECIÓN DE FUGA DE ACEITE EN SISTEMA ENFRIAMIENTO	TCH-0075	ACA-055-BRA-SBRA-02	OHE	19/04/1207:16 AM	3
OT-151294668	CME-TCH REPARACIÓN MAYOR DE LA CÁMARA DE EMPUJE	TCH-0075	ACA-055-BRA-SBRA-02	BRD	19/04/1207:16 AM	72
OT-151294773	CME-TCH CAMBIO DE KIT DE ORING DE LA CÁMARA DE EMPUJE	TCH-0075	ACA-055-BRA-SBRA-02	ELU	13/02/1414:16 PM	3

OT-150239892	CME-TCH CAMBIO DE MANGUERA DE RECIRCULACIÓN DE ACEITE DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.	TCH-0075	ACA-055-BRA-SBRA-02	ELU	18/03/1415:16 PM	2
OT-150020254	CME-TCH CAMBIO DE ORING Y RETENEDORES DE LA CÁMARA	TCH-0075	ACA-055-BRA-SBRA-02	ELU	26/06/1414:20 PM	2
OT-150020256	CME-PCF REPARACIÓN MAYOR DEL CUERPO DE BOMBA	PCF-0939 PCF-0917	ACA-055-BRA-SBRA-02	PDE	01/12/1307:20 AM	1440
OT-150020256	CME-PCF CHEQUEO DE SUCCIÓN ETAPA INICIAL DE LA BOMBA	PCF-0939 PCF-0917	ACA-055-BRA-SBRA-02	ELU	13/04/1207:20 AM	24
OT-150020256	CME-PCF CAMBIO DEL COUPLING DE LA BOMBA	PCF-0939 PCF-0917	ACA-055-BRA-SBRA-02	NOI	12/09/1307:20 AM	6
OT-150020256	CME-PCF DESACOPLE DE INTAKE DE SUCCIÓN VERIFICAR GIRO EJE DE LA BOMBA	PCF-0939 PCF-0917	ACA-055-BRA-SBRA-02	ELU	24/09/1414:20 PM	216
OT-150020256	CME-PCF CAMBIO DE ORING DEL CARRETO DE SUCCION	PCF-0939 PCF-0917	ACA-055-BRA-SBRA-02	ELP	16/12/1406:20 PM	2
OT-150020257	CME-REPARACION DE CAÑERIA DE TRASMISIÓN DE PRESIÓN DEL SENSOR	N/A	ACA-055-BRA-SBRA-02	SPO	09/06/1210:20 AM	2
OT-150020262	CME-CAMBIO DEL SENSOR Y REVISIÓN DE CIRCUITO A TIERRA	N/A	ACA-055-BRA-SBRA-02	SPO	15/11/1307:20 PM	2
OT-150056749	CME-REEMPLAZO DEL SWITCH DE VIBRACIÓN.	N/A	ACA-055-BRA-SBRA-02	ERO	23/05/1407:20 AM	4
OT-15007894	CME-CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE NIVEL DE ACEITE	N/A	ACA-055-BRA-SBRA-02	SPO	20/06/1408:20 AM	1

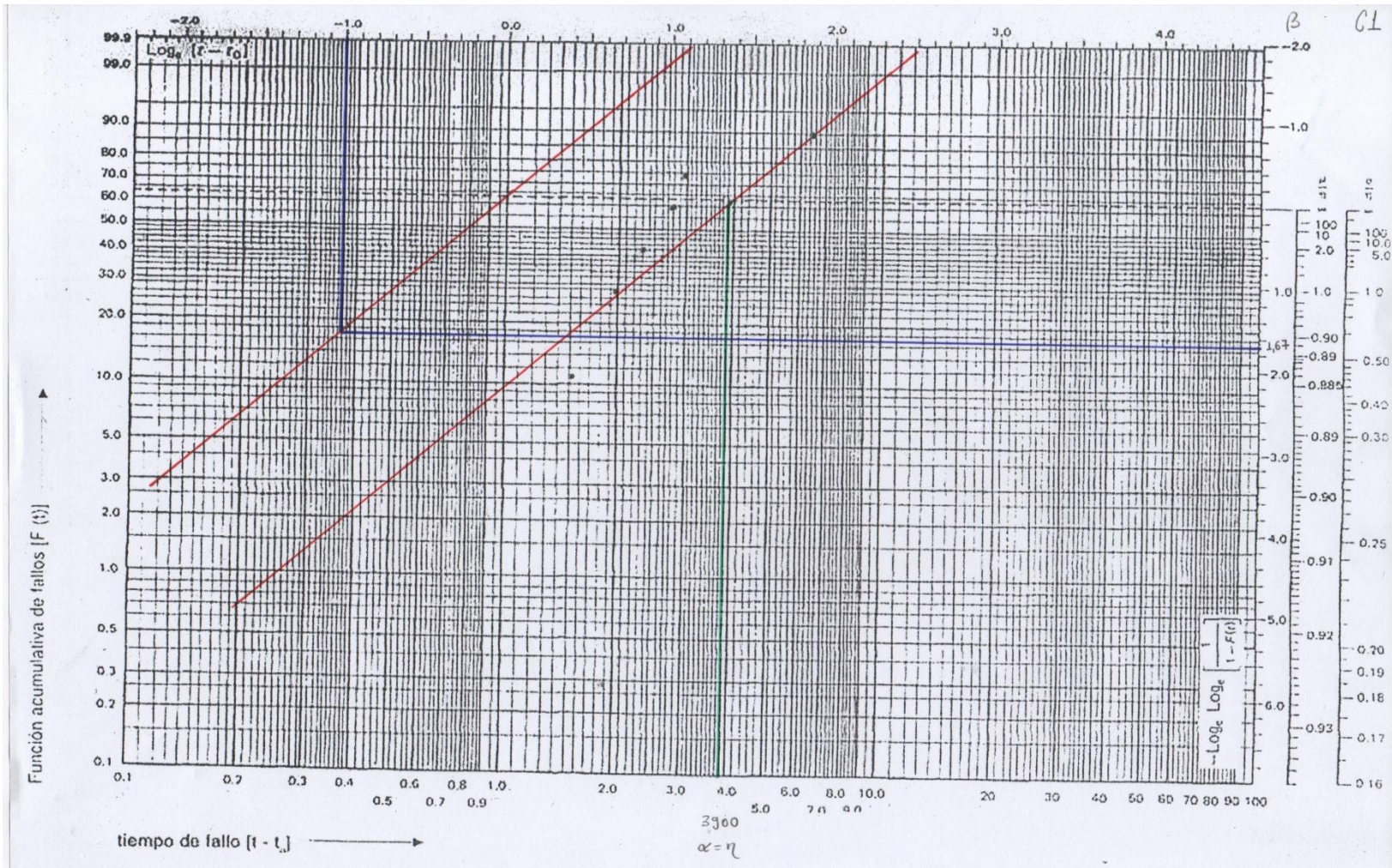
ANEXO B

CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE FIABILIDAD MEDIANTE EL PAPEL DE WEIBULL

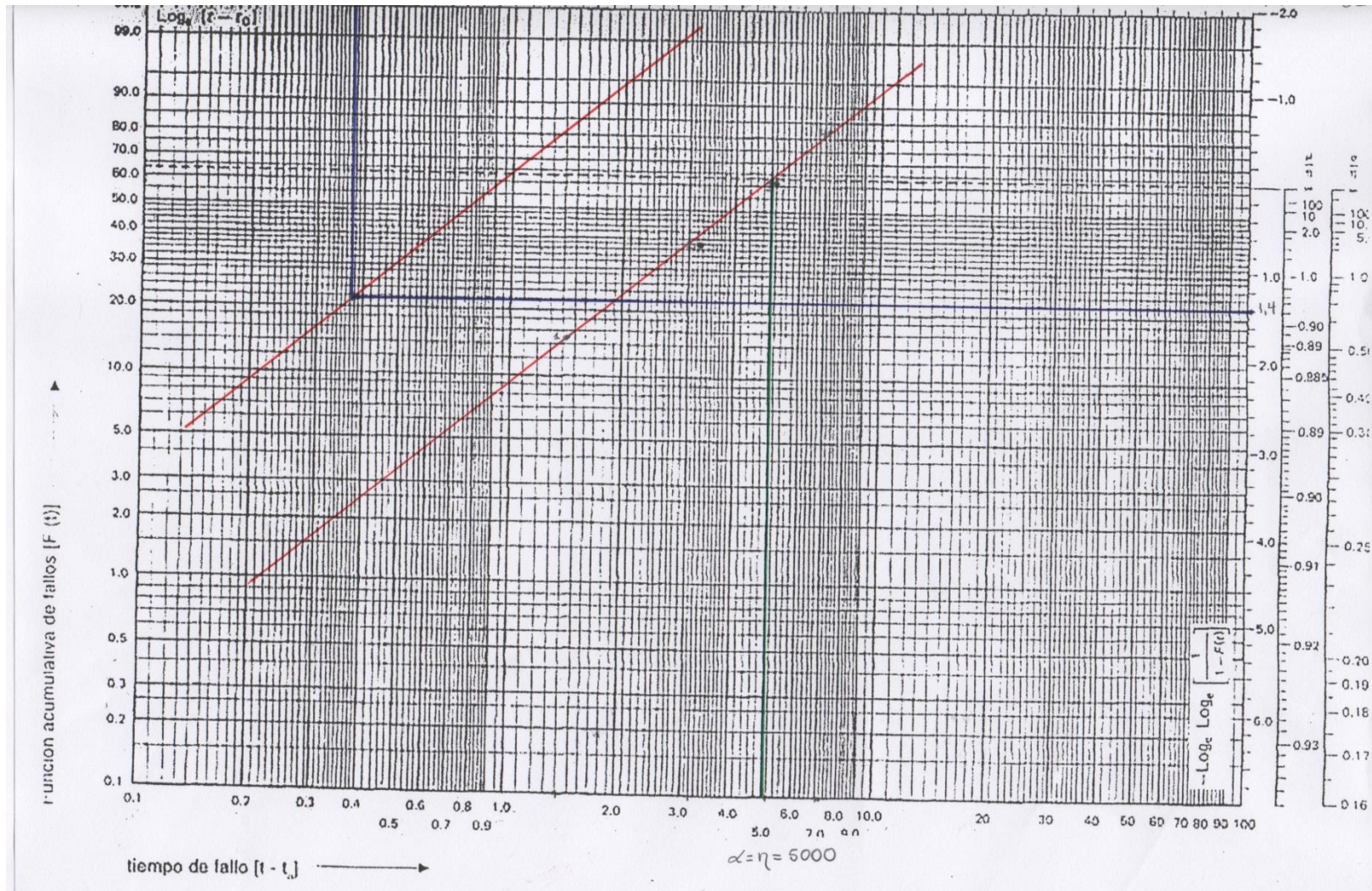
Motor Eléctrico N°1



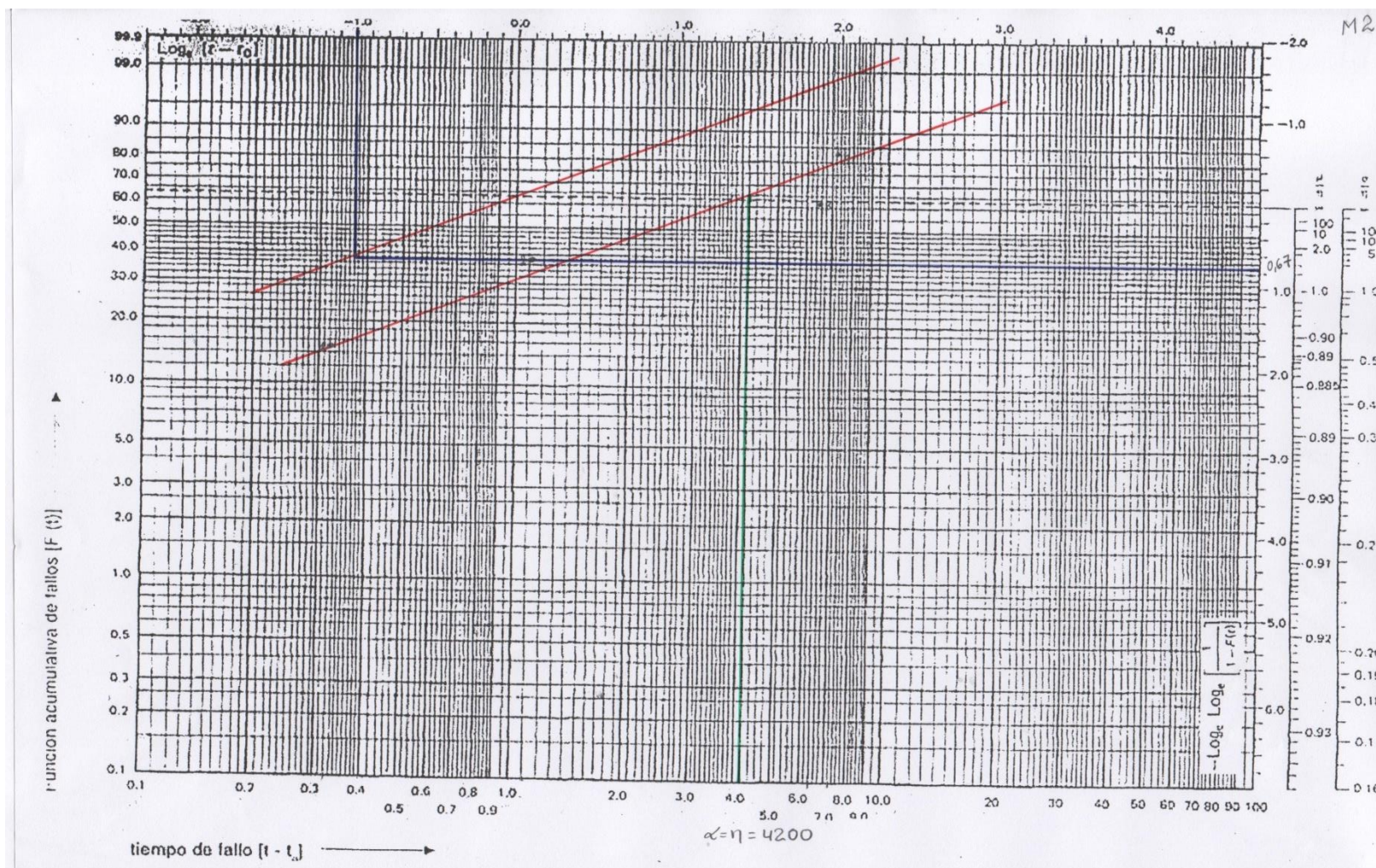
Cámara de Empuje N°1



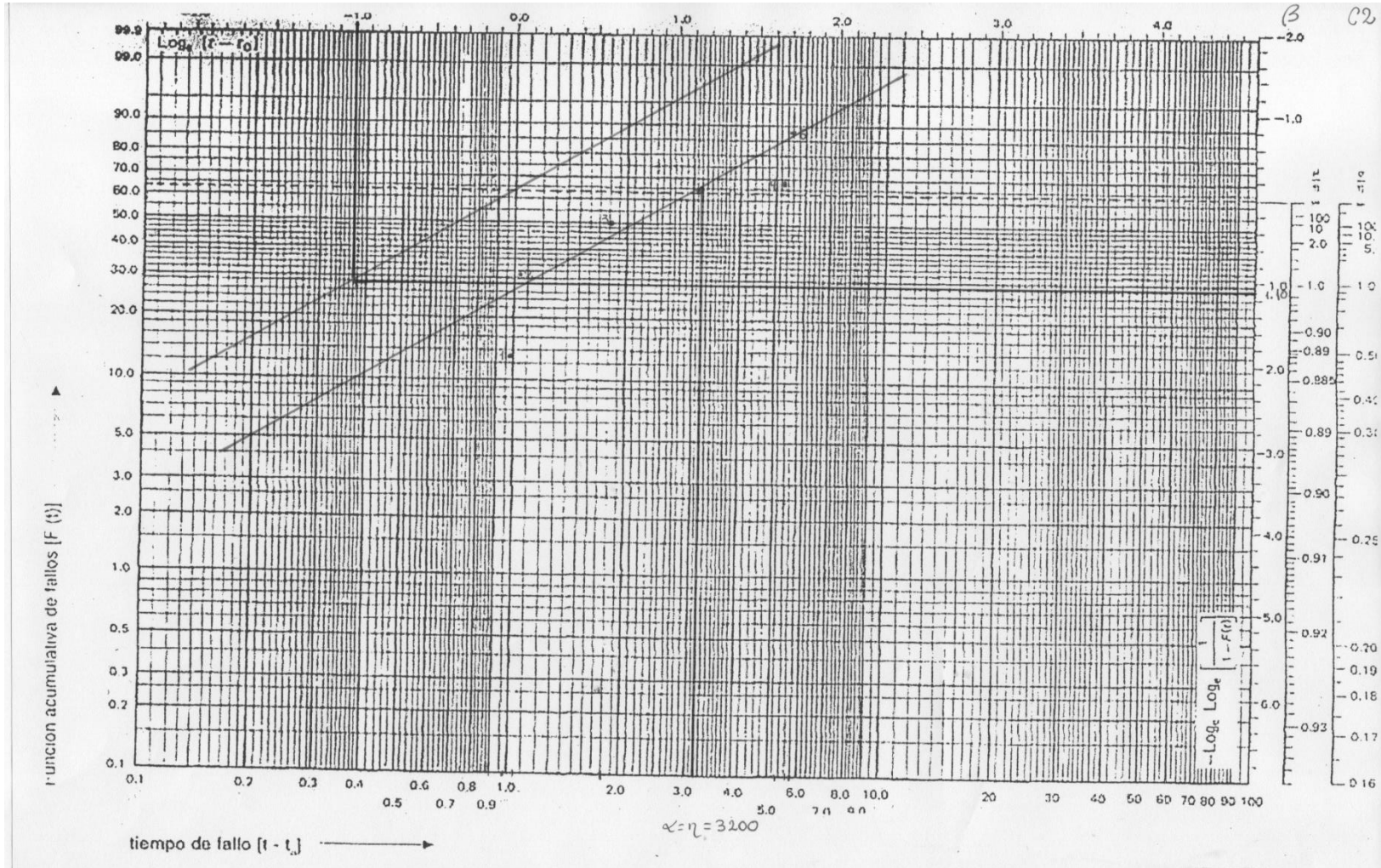
Bomba Multietapas N^o1



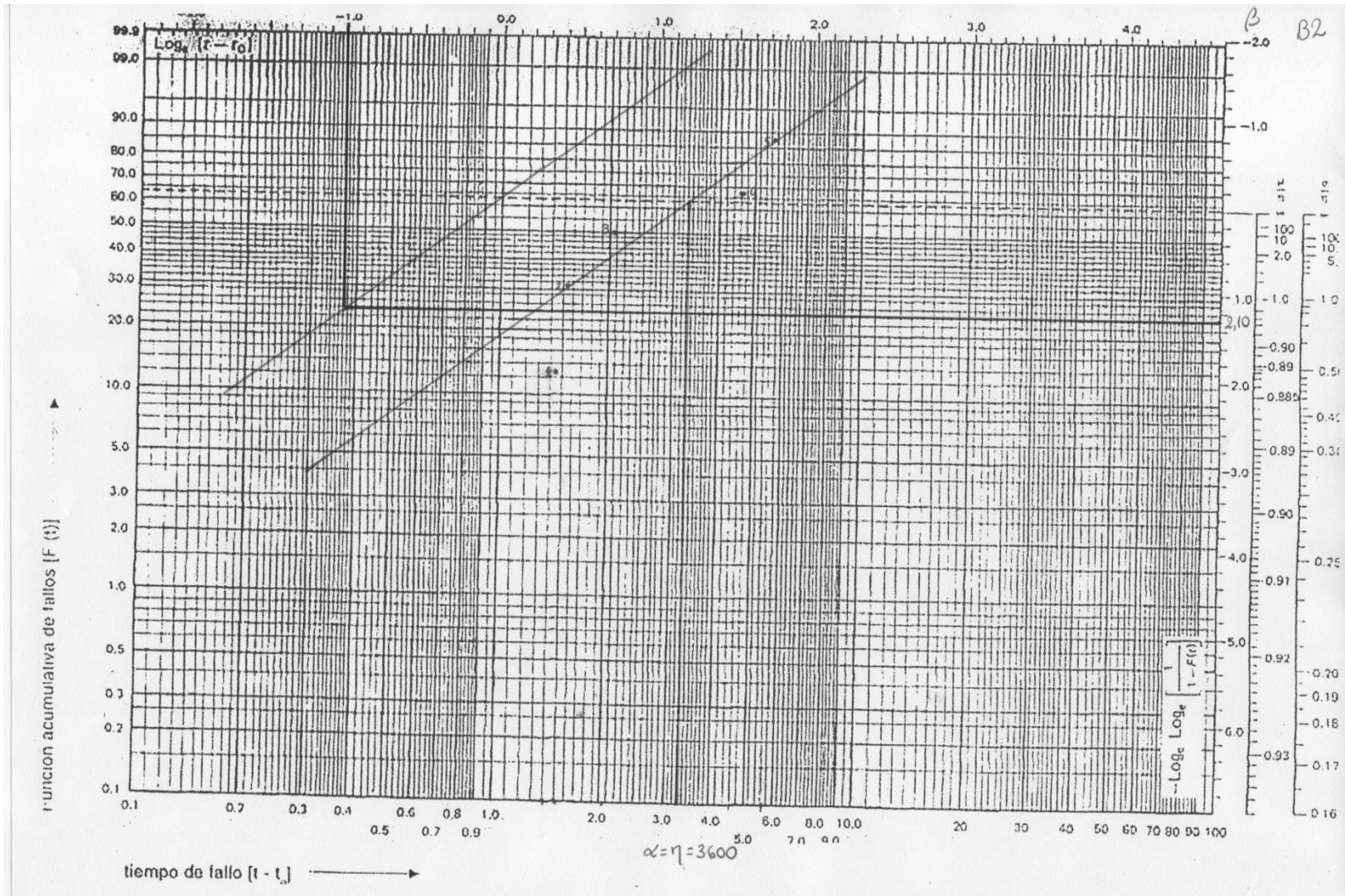
Motor Eléctrico N^o2



Cámara de Empuje N°2



Bomba Multietapas N^o1



ANEXO C

TABLA DE LA LEY DE WEIBULL PARA EL CÁLCULO DEL PARÁMETRO A PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR MEDIO

FIABILIDAD DE MÁQUINAS

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	50.08	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	0.8856	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	1.1906	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	1.77	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	0.186
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			

Tabla de la ley de Weibull para el cálculo de los parámetros A para la determinación del valor medio

Donde:

β = parámetro de forma

α = vida característica

t = tiempo de predicción

$\beta = 1.6$

$\alpha = 5500$

47-41

ANEXO D

PROCEDIMIENTO PARA COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

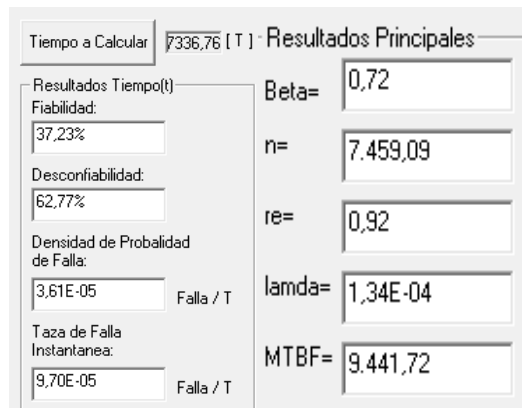
DESPUES DE APLICAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO PERIODO 2015 HASTA MARZO DEL 2016

Sistema de potencia motor eléctrico N° 1

Se toma durante el período desde 2015 hasta el mes de abril del 2016 un total de 11640 horas operadas

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	377,00	F	0,1296	12,96%
2	4.681,00	F	0,3148	31,48%
3	5.379,00	F	0,5000	50,00%
4	6.840,00	F	0,6852	68,52%
5	11.640,00	F	0,8704	87,04%

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un tiempo de 7336,76 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione satisfactoriamente el sistema de potencia motor eléctrico N° 1 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la Figura.



Se han presentado una falla en las cámaras de empuje N° 1

– Registro de fallas presentadas en la cámara de empuje N° 1

A continuación se encontrarán la falla registradas en la cámara de empuje en donde se indica los MTTR y horas de funcionamiento.

Tabla: Registro de fallas en la cámara de empuje N° 1

N° Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
7	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Sobre temperatura	VIB	Cambio de rodamientos de la cámara de (trabajo realizado con OT)	17-mar-16 a 09:18 hasta 17-mar-17 a 11:18	10	22380

Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Realizado por: ARREGUI, César, 2016.

Sistema de transmisión cámara de empuje N° 1

Se toma durante el período desde 2015 hasta el mes de abril del 2016 un total de 6120 horas operadas

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	1.447,00	F	0,0946	9,46%
2	1.884,00	F	0,2297	22,97%
3	2.156,00	F	0,3649	36,49%
4	2.510,00	F	0,5000	50,00%
5	2.796,00	F	0,6351	63,51%
6	5.465,00	F	0,7703	77,03%
7	6.120,00	F	0,9054	90,54%

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un TMEF 2753,98 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione satisfactoriamente el sistema de transmisión cámara de empuje N° 1 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la Figura.

Tiempo a Calcular:	2886,38 [T]	Tiempo a Calcular:	2886,38 [T]
Resultados Tiempo(t)		Resultados Tiempo(t)	
Fiabilidad:	53,06%	Fiabilidad:	53,06%
Desconfiabilidad:	46,94%	Desconfiabilidad:	46,94%
Densidad de Probabilidad de Falla:	2,18E-04	Densidad de Probabilidad de Falla:	2,18E-04
	Falla / T		Falla / T
Taza de Falla Instantanea:	4,11E-04	Taza de Falla Instantanea:	4,11E-04
	Falla / T		Falla / T

Sistema de bombeo bombas multietapas N° 1

Se toma durante el período desde inicios del año 2015 hasta el mes de abril del 2016 un total de 11640 horas operadas.

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	1.478,00	F	0,1296	12,96%
2	3.236,00	F	0,3148	31,48%
3	5.040,00	F	0,5000	50,00%
4	7.180,00	F	0,6852	68,52%
5	11.640,00	F	0,8704	87,04%

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un TMEF de 4526,64 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione satisfactoriamente la bomba multietapas N° 1 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la siguiente figura.

Tiempos entre fallos del sistema de instrumentación y control de la unidad de bombeo N°

1.

Función Exponencial

N° Fallas	t (h)
1	2497
2	2570
3	4849
4	7172
5	11640

El cálculo de los índices de fiabilidad de los equipos de instrumentación y control de la unidad HPS N. 1 mediante la distribución exponencial vienen representados por las siguientes expresiones:

– Tiempo medio entre fallos

$$TMEF = \frac{\text{tiempo total de buen funcionamiento}}{\text{número total de fallos}}$$

$$TMEF = \frac{28728}{5}$$

$$TMEF = 5745,6 \text{ h}$$

– Tasa de fallos

$$\lambda(t) = \frac{1}{TMEF}$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{5745,6}$$

$$\lambda(t) = 0,0001740 = 1,74 \times 10^{-4} [1/h]$$

– Fiabilidad

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

$$R(4272) = e^{-0,0001740 \times 4272}$$

$$R(4272) = 0,4755 = 47,55\%$$

– Infiabilidad

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

$$F(t) = 1 - 0,4755$$

$$F(t) = 0,5245$$

– Densidad de probabilidad de fallo

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$f(t) = 0,0001740 * e^{-0,0001740 \times 4272}$$

$$f(t) = 0,000082737 = 8,27 \times 10^{-5}$$

Sistema de potencia motor eléctrico N° 2

Se toma durante el período desde 2015 hasta el mes de abril del 2016 un total de 11640 horas operadas.

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	321,00	F	0,1296	12,96%
2	1.119,00	F	0,3148	31,48%
3	6.442,00	F	0,5000	50,00%
4	7.225,00	F	0,6852	68,52%
5	11.640,00	F	0,8704	87,04%

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un TMEF de 5325,20,76 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione satisfactoriamente el sistema de potencia motor eléctrico N° 2 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la Figura.

Tiempo a Calcular:	5325,20 [T]	Resultados Principales:	
Resultados Tiempo(t):		Beta=	0,66
Fiabilidad:	39,71%	n=	6.006,15
Desconfiabilidad:	60,29%	re=	0,97
Densidad de Probabilidad de Falla:	4,55E-05	lamda=	1,66E-04
	Falla / T	MTBF=	7.602,59
Taza de Falla Instantanea:	1,14E-04		
	Falla / T		

Se ha presentado una falla en la cámara de empuje N° 2

– **Registro de fallas presentadas en la cámara de empuje N° 2**

A continuación se encontraran las fallas registradas en la cámara de empuje en donde se indica los MTTR y horas de funcionamiento

Tabla: Registro de fallas en la cámara de empuje N° 2

Falla	Sistema	Equipo	Componente	Falla funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Descripción	Fecha de Inicio/Fin	Tiempo medio de reparación (MTTR) horas	Horómetro
1	RYA	HPS	Cámara de empuje	Trabaja fuera de los parámetros normales de operación	Fuga de agua de reinyección	ELP	Daño del sello mecánico se realiza el cambio del sello mecánico. (trabajo realizado en OT)	26-jun-14 de 15:00 hasta 26-jun-14 a 18:00	3	20404

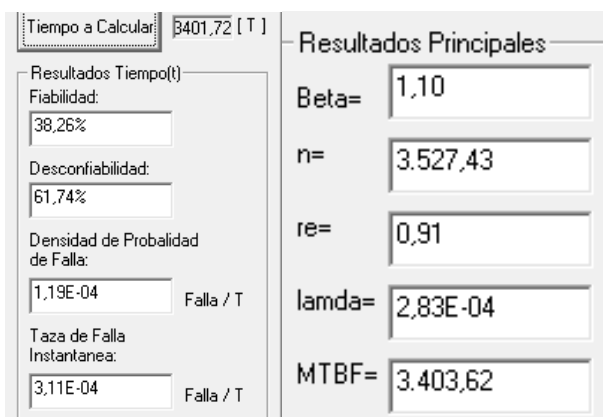
Fuente: Archivo Petroamazonas EP

Sistema de transmisión cámara de empuje N° 2

Se toma durante el período desde 2015 hasta el mes de abril del 2016 un total de 5399 horas operadas

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	995,00	F	0,1296	12,96%
2	1.039,00	F	0,3148	31,48%
3	1.811,00	F	0,5000	50,00%
4	5.399,00	F	0,6852	68,52%
5	5.766,00	F	0,8704	87,04%

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un TMEF 3401,72 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione satisfactoriamente el sistema de transmisión cámara de empuje N° 2 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la Figura.



Sistema de bombeo bombas multietapas N° 1

Se toma durante el período desde inicios del año 2015 hasta el mes de abril del 2016 un total de 11640 horas operadas

Falla	Tiempo	Fall/Susp	F(t)	% F(t)
1	1.450,00	F	0,1094	10,94%
2	1.593,00	F	0,2656	26,56%
3	2.025,00	F	0,4219	42,19%
4	4.626,00	F	0,5781	57,81%
5	5.780,00	F	0,7344	73,44%
6	11.640,00	F	0,8906	89,06%

Entonces mediante el software Fiasoft se ha definido y determinado los índices de fiabilidad para un TMEF de 3297,54 horas, el cual representa el tiempo probable que funcione satisfactoriamente la bomba multietapas N° 2 antes de que aparezca otra falla. Estos valores se resumen en la Figura.

Tiempo a Calcular: 3297,54 [T] Resultados Tiempo(t) Fiabilidad: 55,30% Desconfiabilidad: 44,70% Densidad de Probabilidad de Falla: 1,17E-04 Falla / T Taza de Falla Instantanea: 2,12E-04 Falla / T	Resultados Principales Beta= 1,18 n= 5.139,06 re= 0,93 lamda= 1,95E-04 MTBF= 4.834,31
--	---

Tiempos entre fallos del sistema de instrumentación y control de la unidad de bombeo N° 2

Función Exponencial

N° Fallas	t (h)
1	221
2	2177
3	6110
4	6488
5	11640

Cálculo de los índices de fiabilidad de los equipos de instrumentación y control de la unidad HPS N. 2 mediante la distribución exponencial vienen representados por las siguientes expresiones:

– Tiempo medio entre fallos

$$TMEF = \frac{\text{tiempo total de buen funcionamiento}}{\text{número total de fallos}}$$

$$TMEF = \frac{26636}{5}$$

$$TMEF = 5327,2$$

- Tasa de fallos

$$\lambda(t) = \frac{1}{TMEF}$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{5327,2}$$

$$\lambda(t) = 0,0001877 = 1,87 \times 10^{-4} [1/h]$$

- Fiabilidad

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

$$R(3749) = e^{-0,0001877 \cdot 3749}$$

$$R(3749) = 0,4947 = 49,47\%$$

- Infiabilidad

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

$$F(t) = 1 - 0,3678$$

$$F(t) = 0,6321 = 63,21\%$$

- Densidad de probabilidad de fallo

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$f(t) = 0,0001877 e^{-0,0001877 \cdot 3749}$$

$$f(t) = 0,0000928 = 9,28 \times 10^{-5}$$

Análisis comparativo antes y después de aplicar el Plan de mantenimiento

Se utiliza dos tablas para comparar los valores calculados antes de la aplicación del plan de mantenimiento basado en el TMEF y de un análisis posterior al mismo.

Tabla 5: Parámetros e índices de fiabilidad de las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS durante el periodo 2010-2014.

Componente	TMEF (h)	Fiabilidad %
Motor eléctrico 1	7336,76	31
Motor eléctrico 2	5325,20	31,17
Cámara empuje 1	2886,38	45,24
Cámara empuje 2	3401,72	38,23
Bomba multietapas 1	4526,64	42,30
Bomba multietapas 2	3297,54	42,37
Instrumentación y control 1	4272	36,78
Instrumentación y control 2	3749	36,78

Valores de fiabilidad de los equipos obtenidos después de aplicar el plan de mantenimiento desde el año 2015 hasta la presente fecha.

Tabla 6: Parámetros e índices de fiabilidad de las unidades de bombeo de reinyección de agua HPS durante el periodo 2015 hasta marzo del 2016.

Componente	TMEF (h)	Fiabilidad %
Motor eléctrico 1	9441,72	37,23
Motor eléctrico 2	7602,59	39,71
Cámara empuje 1	3268,87	55,96
Cámara empuje 2	3403,62	38,26
Bomba multietapas 1	6139,15	48,26
Bomba multietapas 2	4834,31	55,30
Instrumentación y control 1	5745,6	47,55
Instrumentación y control 2	5327,2	49,47