

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**ANALISIS DE INTERVALOS OPTIMOS PARA EL
MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN COMPONENTES
MAYORES DE UNA PALA ELECTROHIDRAULICA
RH90C**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

JAVIER ARTHUR PAGÁN TORRES

PROMOCION 2009-I

LIMA-PERU

2012

Agradecimiento:

*A mis padres Javier y Asuncion,
Por haber fomentado en mí el deseo de
superación y el anhelo de triunfo en la vida*

*Janet,
Gracias por compartir mi vida y mis logros*

*Sabrina & Andy
Gracias por su infinita paciencia,
por su tierna compañía y su inagotable
apoyo*

INDICE

INDICES DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INDICE DE ECUACIONES

INTRODUCCIÓN

8

1.1. ANTECEDENTES

9

1.2. OBJETIVO

9

1.3. JUSTIFICACION

10

1.4. ALCANCE

10

CAPITULO II. INGENIERIA DE CONFIABILIDAD

11

2.1. DEFINICIÓN

11

2.2. IMPORTANCIA DE LA CONFIABILIDAD

11

2.3. CONFIABILIDAD INTEGRADA DE ACTIVOS

12

2.3.1. Variable Aleatoria

13

2.3.2. Función Densidad de Probabilidad

14

2.3.2.1. Distribución Normal

16

2.3.2.2. Distribución Exponencial

16

2.3.2.3. Distribución Weibull

17

2.3.3. Función de Confiabilidad

17

2.3.4. Probabilidad Acumulada de Falla

18

2.3.5. Tasa Instantánea de Falla

18

2.4. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA WEIBULL	19
2.4.1. Generalidades	19
2.4.2. Determinación de los parámetros por el método de los Mínimos Cuadrados	21
2.4.3 Pazos de Cálculo de Parámetros de Forma, escala y Localización	22
CAPITULO III. DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS	28
3.1 <i>DESCRIPCION DE PALA ELETROHIDRÁULICA RH90</i>	28
3.1.1. Carrilería (Undercarriage).-	29
3.1.2. Superestructura (Superstructure).-	30
3.1.3. Equipo de Trabajo (Working Equipment).-	31
3.1.4 Sistema Eléctrico (Electrical System).-	32
CAPITULO IV. APLICACIÓN A LAS PALAS HIDRAULICAS	34
4.1. <i>Caculo de Parámetros de Forma, Escala y Localización</i>	34
4.1.1. Motores de Combustión Interna	34
4.1.2. Bombas Principales de Trabajo	36
4.1.3. Caja de Engranajes	37
4.1.4. Bombas de Giro	38
4.1.5. Resumen de Parámetros Weibull	40
4.2. <i>Curvas Características y MTBF</i>	40
4.2.1. Motores de Combustión Interna	40
4.2.2. Bombas principales de Trabajo	43
4.2.3. Cajas de Engranajes	45
4.2.4. Bombas de Giro	47
4.2.5. Resumen de MTBF	49

CAPITULO V. ESTRATEGIA ÓPTIMA DE MANTENIMIENTO	50
5.1. Criterio de Disponibilidad	50
5.1.1. Motor de Combustión Interna	51
5.1.2. Bomba principal de Trabajo	52
5.1.3. Caja de Engranajes	52
5.1.4. Bomba de Giro	53
5.1.5. Resumen TBO según indisponibilidad	54
5.2. Criterio de Costo de Intervención	54
5.2.1. Motor de Combustión Interna	55
5.2.2. Bomba principal de Trabajo	56
5.2.3. Caja de Engranajes	56
5.2.4. Bomba de Giro	57
5.2.5. Resumen TBO según costo de intervenciones	58
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	61
ANEXOS	
BIBLIOGRAFIA	

INDICES DE FIGURAS

Figura 2.1 Función Densidad de Probabilidad	15
Figura 2.2 Una aproximación de la tasa instantánea de falla	18
Figura 2.3 Distribución Weibull - Curva de la Bañera	20
Figura 2.4. Trazado de la recta de regresión $\gamma=0$	25
Figura 3.1 Pala RH90C – Especificaciones	28
Figura 3.2. Carrileria de Pala RH90C	29
Figura 3.3. Superestructura de Pala RH90C	31
Figura 3. 4. Equipo de Trabajo de Pala RH90C	32
Figura 3. 5. Sistema eléctrico Pala RH90	33
Figura 4.1. Vida de los motores de Combustión	35
Figura 4.2. Weibull del Motor de Combustión	35
Figura 4.3. Vida de las Bombas de Trabajo	36
Figura 4.4. Weibull de las Bombas de Trabajo	37
Figura 4.5. Vida de Caja de Engranajes	37
Figura 4.6. Weibull de las Cajas de Engranaje	38
Figura 4.7. Vida de Bombas de Giro	39
Figura 4.8. Weibull de Bombas de Giro	39
Figura 4.9. Curva de Confiabilidad Motor de Combustión	40
Figura 4.10. Tasa de Falla de Motor de Combustión	41

Figura 4.11. Función de densidad de probabilidad de falla Motor de Combustión	42
Figura 4.12. Curva de Confiabilidad Bombas Principales de Trabajo	43
Figura 4.13. Tasa de Falla de Bombas Principales de Trabajo	44
Figura 4.14. Función de distribución de probabilidad de Bombas principales de Trabajo	44
Figura 4.15. Curva de Confiabilidad Caja de Engranaje	45
Figura 4.16. Tasa de Falla de Caja de Engranajes	46
Figura 4.17. Función de distribución de probabilidad de Caja de Engranajes	46
Figura 4.18. Curva de Confiabilidad Bomba de Giro	47
Figura 4.19. Tasa de Falla Bomba de Giro	48
Figura 4.20. Función de distribución de probabilidad de Caja de Engranajes	38
Figura 5.1.Indisponibilidad de Motores de Combustión Interna	51
Figura 5.2.Indisponibilidad de Bombas principales de trabajo	52
Figura 5.3.Indisponibilidad de caja de Engranajes	53
Figura 5.4.Indisponibilidad de Bomba de Giro	54
Figura 5.5.Costo de intervención de Motores de Combustión Interna	55
Figura 5.6.Costo de intervención de Bomba principal de trabajo	56
Figura 5.7.Costo de intervención caja de engranajes	57
Figura 5.8.Costo de intervención de Bomba de giro	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tiempos de falla ordenadas de menor a mayor	23
Tabla 2.2 Medianas Calculadas	23
Tabla 2.3. Abscisas calculadas del diagrama weibull	24
Tabla 2.4. Ordenadas calculadas del diagrama weibull	24
Tabla 2.5. Parámetros de escala, forma y localización	25
Tabla 2.6. Uso del Solver para el cálculo del parámetro de localización	26
Tabla 4.1. Relación de los equipos a Estudiar	35
Tabla 4.2. Resumen de parámetros de weibull	40
Tabla 4.3. Resumen MTBF “Tiempo medio entre Fallas”	49
Tabla 5.1. Tiempo de Intervenciones	51
Tabla 5.2. Resumen del TBO según Indisponibilidad	54
Tabla 5.3. Costos de intervención	55
Tabla 5.4. Resumen del TBO según costo de intervenciones	58

INTRODUCCIÓN

Frente a los cambios que está atravesando la minería en el Perú en estos últimos años, especialmente la explotación a Cielo Abierto con equipos gigantes, han llegado varios inversionistas para realizar proyectos mineros de clase mundial en la extracción de oro, cobre, zinc y fierro. La estabilidad económica que vive el país garantiza a los inversionistas destinar capitales ilimitados hacia estos proyectos. El Perú ofrece una diversidad de recursos que interesan a las más grandes mineras del mundo.

Paralelamente a esto la revolución científica – técnica creó nuevos sectores, industrias, actividades económicas, y transformo las relaciones entre sectores económicos, produciendo una enorme presión para ser competitivos y ofrecer una entrega oportuna de productos de calidad. El mantenimiento, como sistema, tiene una función clave en el logro de las metas y objetivos de la empresa.

La técnica de la producción minera a cielo abierto con su acelerada mecanización está considerando nuevos caminos para enfocar esta industria hacia la operación y mantenimiento de sus activos. Como ocurre con los directores financieros, quienes buscan maximizar el retorno de la inversión de cada activo. El papel del mantenimiento busca minimizar el costo del ciclo de vida de los equipos.

Para alcanzar la tasa de rendimiento sobre la inversión que se ha fijado como meta, se debe maximizar la disponibilidad y eficacia de los equipos gigantes.

Para esto debemos ver cuidadosamente la condición de cada activo y su capacidad de producir ingresos. Para todo este análisis se requiere una profunda comprensión de confiabilidad y criticidad de cada activo

1.1. ANTECEDENTES

Uno de los desafíos importantes de la ingeniería de la confiabilidad es predecir cuándo ocurrirá la falla, para ello utilizamos datos históricos del mismo equipo o de otros similares, operando en condiciones similares, para esto hay varias técnicas de diagnóstico que son útiles en la implementación de un programa de mantenimiento, partiendo de una planificación detallada de las tareas en periodos de tiempos específicos, tales como inspecciones, frecuencia de mantenimientos preventivos, reemplazos, con el apoyo de las últimas tecnologías que se han extendido en todo los sectores industriales tales como las técnicas de mantenimiento basados en el análisis de vibraciones , análisis de aceites lubricantes, la termografía, el ultrasonido, el monitoreo de efectos eléctricos y los análisis de líquidos penetrantes. Todo esto con la intención de que un equipo esté funcionando en el momento determinado. Para visualizar esto nos valemos de distribuciones estadísticas empleadas en el análisis de confiabilidad.

De acuerdo al análisis de intervalos óptimos en esta oportunidad vamos a presentar la distribución de Weibull que se adapta especialmente a sistemas electromecánico, una de sus ventajas es su flexibilidad y adaptabilidad a una variedad de observaciones experimentales.

1.2. OBJETIVO

Estimar la confiabilidad mediante la distribución Weibull y con ayuda de herramientas informáticas, determinar el punto técnico-económico para el

reemplazo de componentes aplicado a Equipos Mineros (Pala Electrohidráulica Caterpillar RH90C)

Cabe resaltar que este trabajo se enfoca principalmente en llevar estos conceptos de clase mundial al plano de aplicación "real" en la búsqueda de la optimización de recursos

1.3. JUSTIFICACION

Los modos de falla propuesto para este estudio caben dentro de la categoría de críticos ya que es una explotación de Mina a Tajo Abierto y estos equipos son el eje de dicha actividad

1.4. ALCANCE

El presente trabajo contempla diversos proyectos (Minera Brocal, Minera La Arena y Minera Shougan) en el que existen estos equipos y previamente fueron identificados como "críticos"

CAPITULO II

INGENIERIA DE CONFIABILIDAD

2.1. DEFINICIÓN

La confiabilidad es el estudio de las características aleatorias del fenómeno de falla. Esta incertidumbre se relaciona directamente con el funcionamiento real e ideal del equipo, y se encuentra limitado a la capacidad inherente (de diseño) del equipo, ya que las labores de operación (condiciones de funcionamiento) y mantenimiento no incrementan la confiabilidad.

El enfoque general de la Ingeniería de Confiabilidad es caracterizar probabilísticamente las fallas para hacer pronósticos y establecer acciones proactivas dirigidas a evitar o disminuir sus efectos.

2.2. IMPORTANCIA DE LA CONFIABILIDAD

Generalmente se espera que los equipos sean operados por un largo tiempo sin que se presente algún tipo de falla que signifique el paro del equipo y por lo tanto de la producción, para ello se recurren a los Planes de Mantenimiento en sus diversas clasificaciones (correctivo, preventivo, predictivo).

Para el estudio y análisis de la confiabilidad se conoce varios métodos, como el Análisis de Markov, Monte Carlo, Análisis de Weibull y otros. Estos métodos nos brindan resultados cuantitativos y cualitativos para

el mejoramiento en las actividades de Operación y Mantenimiento. Cualquiera que sea el método escogido para mejorar y/o estimar la confiabilidad, necesita ser medido para observar el desenvolvimiento del mismo. Y para ello, existen dos métodos que dependen del tipo de data disponible, y estos son:

- Estimación Basada en Datos de Condición, recomendada para equipos estáticos con baja frecuencia de fallas, y en la cual no se permite un estudio estadístico.
- Estimación Basada en Historial de Fallas, recomendada para equipos dinámicos, los cuales presentan una alta frecuencia de fallas, y por lo tanto es posible un análisis estadístico.

En el presente trabajo nos avocaremos específicamente al desarrollo del método del Análisis de Weibull, ya que nos permite obtener:

- El valor numérico de la confiabilidad $R(t)$ de equipos.
- Analizar la confiabilidad a lo largo del periodo de la vida útil.

2.3. CONFIABILIDAD INTEGRADA DE ACTIVOS

Dentro del campo de la gestión de activos, son múltiples los factores, que afectan a la confiabilidad de los sistemas, es así que se genera el concepto de Confiabilidad Operacional, este concepto está definido como la capacidad de una instalación (procesos, personas, tecnología) para realizar la función deseada dentro de los límites de diseño. Pero la Confiabilidad Operacional está relacionado con parámetros, como la Confiabilidad Humana, Confiabilidad de Procesos y Confiabilidad de Equipos, de este modo se requiere centrar la atención del gestor de mantenimiento para garantizar la eficacia y calidad del trabajo.

La Confiabilidad Humana depende del compromiso del personal con

su actividad laboral, del nivel de concentración y del grado de conocimiento que tenga sobre el sistema o equipo.

La Confiabilidad de Equipos está relacionada a las estrategias y efectividad del mantenimiento.

La Confiabilidad del Proceso es aquella que comprende las operaciones dentro del proceso de diseño.

La variación de una de las variables afectará el comportamiento de la confiabilidad operacional. En el presente trabajo nos avocaremos a estimar el valor de la confiabilidad del equipo, para ello debemos tener en cuenta que durante el análisis de confiabilidad tenemos que romper algunos paradigmas presentes, tanto en el personal técnico como en el personal administrativo de mantenimiento.

2.3.1. *Variable Aleatoria*

Hasta este momento hemos tratado el entorno y el alcance de la confiabilidad en el mantenimiento. Pero ahora veremos las relaciones que existen entre el tiempo de uso o de funcionamiento y la frecuencia de fallas. Para poder estimar la confiabilidad debemos conocer el intervalo de tiempo de estudio y el modelo matemático para poder analizarlo, para ello mencionaremos los conceptos básicos de variable aleatoria y probabilidad.

Dentro de los procesos productivos existen una serie de factores que tienen un comportamiento fortuito y que influyen directamente en los indicadores que lo describen, estos factores vienen a ser variables aleatorias del proceso. La variable aleatoria es aquella que como resultado de un experimento toma un valor desconocido.

Las variables aleatorias pueden ser discretas o continuas. Las variables discretas solo toman valores enteros, por ejemplo el número de personas que toman un autobús cada día. Y las variables continuas pueden tomar infinitos valores, como por ejemplo el tiempo en el cual ocurre la falla de un equipo.

De acuerdo a la información que se tenga se estará en el campo de las probabilidades o la estadística.

En el campo de las probabilidades se parte de las características del conjunto de elementos a estudiar, para luego tener injerencia sobre las muestras partiendo del conocimiento y análisis de los datos de la muestra.

En el campo de la estadística se parte del conocimiento y análisis de los datos para llegar a las características del conjunto de elementos. Los datos obtenidos mediante experiencias repetitivas son tratados mediante estos métodos estadísticos. Por lo general en mantenimiento se opta por el segundo caso, ya que se estudia los fenómenos aleatorios a partir del muestreo para establecer relaciones que la describan.

2.3.2. Función Densidad de Probabilidad

También denominado Función de Densidad o Distribución de Densidad. En Mantenimiento se utiliza más la función Densidad de Probabilidad que el Histograma de Frecuencias, esto se debe por las siguientes razones

- La variable a modelar, tales como el tiempo de falla, es una variable continua
- Estas funciones son más fáciles de analizar.

La ecuación de la curva de la Función de Densidad de probabilidad esta denotada por $f(t)$

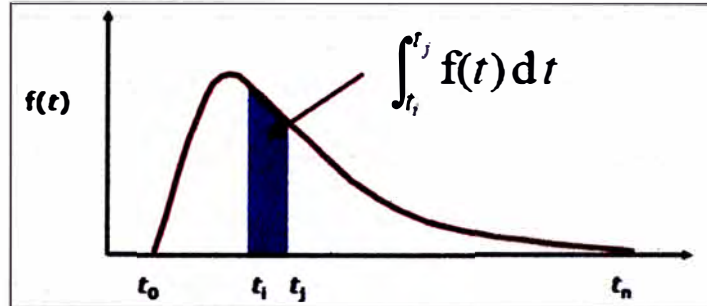


Figura 2.1 Función Densidad de Probabilidad

La función Densidad de Probabilidad es una función que asigna para cada variable (tiempo de falla) su respectiva probabilidad de ocurrencia. De esta forma la función densidad de probabilidad puede tomar la forma de funciones conocidas según la ecuación que contenga (es decir una función de la forma Exponencial, Normal, Weibull etc.)

Propiedades de la función de densidad

- a. Los valores de probabilidad ($P_{(X_1 < X < X_2)}$) entre dos magnitudes cualesquiera es la integral entre dichas magnitudes.

$$P_{(X_1 < X < X_2)} = \int_{X_1}^{X_2} f(x) dx \quad (2.1)$$

- b. La integral entre menos infinito y más infinito es uno

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (2.2)$$

- c. La integral desde el infinito hasta una variable cualquiera es igual a la función evaluada en ese valor.

$$\int_{-\infty}^{x_1} f(x) dx = F(x_1) \quad (2.3)$$

En el histograma de frecuencias el área debajo de la curva representa la estimación de la probabilidad de falla, de igual manera en

la función de densidad la estimación se calcula integrando la función en un intervalo de tiempo determinado.

Como se mencionó anteriormente existen funciones conocidas para caracterizar la distribución de la falla del equipo, algunas de las más conocidas son la función Exponencial, la función Normal, la función de Weibull.

2.3.2.1. Distribución Normal

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.4)$$

La mayor aplicación es la industria del petróleo¹, como estimador en la producción por campo (suma de las producciones individuales por pozo) y suma totales de costos e inversiones

2.3.2.2. Distribución Exponencial

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (2.5)$$

Usada en el análisis de Confiabilidad como distribución de la variable aleatoria “tiempo de falla” de equipos o sistemas. Y solo para este caso se tiene como parámetros de indicadores de fallas al tiempo promedio entre fallas (MTBF - Mean Time Between Failures):

$$MTBF = \lambda \quad (2.6)$$

Y al tiempo promedio de fallas (MTTF - Mean Time To Failure)

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.7)$$

Donde:

$\lambda(t)$: Tasa de falla instantánea.

¹ Miguel Apolinario, "Estimación de la confiabilidad en Equipos Mediante el Análisis de Weibull" 2008

2.3.2.3. Distribución Weibull

La distribución de Weibull envuelve a otras distribuciones, es decir, según los valores que definen la distribución de la función de Weibull se puede describir otras funciones como la normal o la exponencial. Los detalles serán explicados más adelante. La función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull se muestra a continuación:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (2.8)$$

Donde:

- f(t) : Densidad de probabilidad de Falla
- t : Tiempo
- η : Es el parámetro de **escala** o tiempo característico (en unidades de tiempo $0 < \eta < \infty$) "vida Característica"
- β : Es el parámetro de **forma** (a dimensional) y es el parámetro de localización (en unidades de tiempo, $0 < \beta < \infty$)
- γ : Es el parámetro de **localización** ($-\infty < \gamma < \infty$)

2.3.3. Función de Confiabilidad

La Confiabilidad de un componente en el instante t ; R(t); es la probabilidad de que un ítem no falle en el intervalo (0; t), dado que era nuevo o como nuevo en el instante t = 0 . Un componente puede tener diferentes confiabilidades, asociadas a diferentes funciones.

Considere N componentes supuestamente idénticos, todos nuevos o como nuevos en t = 0. Sea N – n el número de componentes que fallan en el intervalo [0, t]. R(t) puede ser estimada a partir de :

$$R(t) = \frac{n(t)}{N} \quad (2.9)$$

Donde:

$R(t)$: Confiabilidad en el instante " t "

$n(t)$: El número esperado de fallas durante el tiempo "t"

N : Numero de componentes idénticos

2.3.4. Probabilidad Acumulada de Falla

La probabilidad acumulada de falla $F(t)$ se define como la probabilidad de que un ítem falle n el intervalo $(0, t)$. Entonces:

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (2.10)$$

Donde:

$R(t)$: Confiabilidad en el instante " t "

$F(t)$: Probabilidad acumulada de Falla en el instante " t "

2.3.5. Tasa Instantánea de Falla

La tasa de falla $\lambda(t)$ se define como el número esperado de fallas del sistema o de un componente en el intervalo $(t, t + dt)$. Se mide en fallas por unidad de tiempo. Es una función de la edad. La figura 2.3 muestra un ejemplo de estimación posible de la tasa instantánea de falla. Al multiplicar por Δt se obtiene la probabilidad de que un componente falle durante ese intervalo de tiempo.

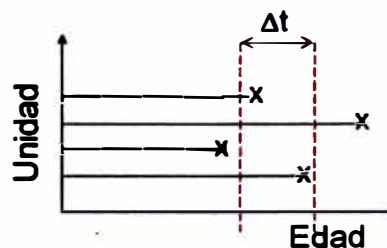


Figura 2.2 Una aproximación de la tasa instantánea de falla

2.4. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA WEIBULL

2.4.1. Generalidades

Las máquinas y sus componentes fallan inevitablemente en algún momento. Uno de los desafíos importantes de la ingeniería de la confiabilidad es predecir cuando ocurrirá la falla. Para ello, aprovechamos los datos históricos del mismo equipo o de otros equipos similares, operando en circunstancias similares. Aunque algunas fallas de componentes pueden ser bien modeladas por la distribución normal, ella es muy restrictiva para la mayoría de las circunstancias que aparecen en la gestión de activos físicos. Por ejemplo, la distribución Normal es simétrica respecto de la media y los tiempos de falla en general muestran una distribución no simétrica. Lo último es fácilmente representado en una distribución de Weibull

Entre las ventajas del modelo Weibull sobre otros se cuentan:

- Su flexibilidad
- Otros Modelos son casos especiales (Exponencial, Normal, etc.)
- Las curvas de distribución Weibull pueden analizar condiciones de: Mortalidad infantil, envejecimiento operacional y las fallas aleatorias.

La distribución de Weibull es una distribución continua y triparamétrica es decir , está completamente definida por tres parámetros y es la más empleada en el campo de la confiabilidad. La expresión matemática de la distribución Weibull se muestra en la ecuación 2.8. :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (2.8)$$

.Donde:

f(t) : Densidad de probabilidad de Falla

t : Tiempo

- η : Es el parámetro de **escala** o tiempo característico (en unidades de tiempo $0 < \eta < \infty$) "vida Característica"
- β : Es el parámetro de **forma** (a dimensional) y es el parámetro de localización (en unidades de tiempo, $0 < \beta < \infty$)
- γ : Es el parámetro de **localización** ($-\infty < \gamma < \infty$)

El modelamiento de las probabilidades de falla está condicionado a la etapa de vida en la que se encuentre el elemento. Con la curva de la bañera es posible modelas el comportamiento de cada una de las tres etapas de la tasa de falla. En la figura 2.3 podemos observa estas etapas (zona de mortalidad infantil, zona de vida útil y zona de final de la vida)

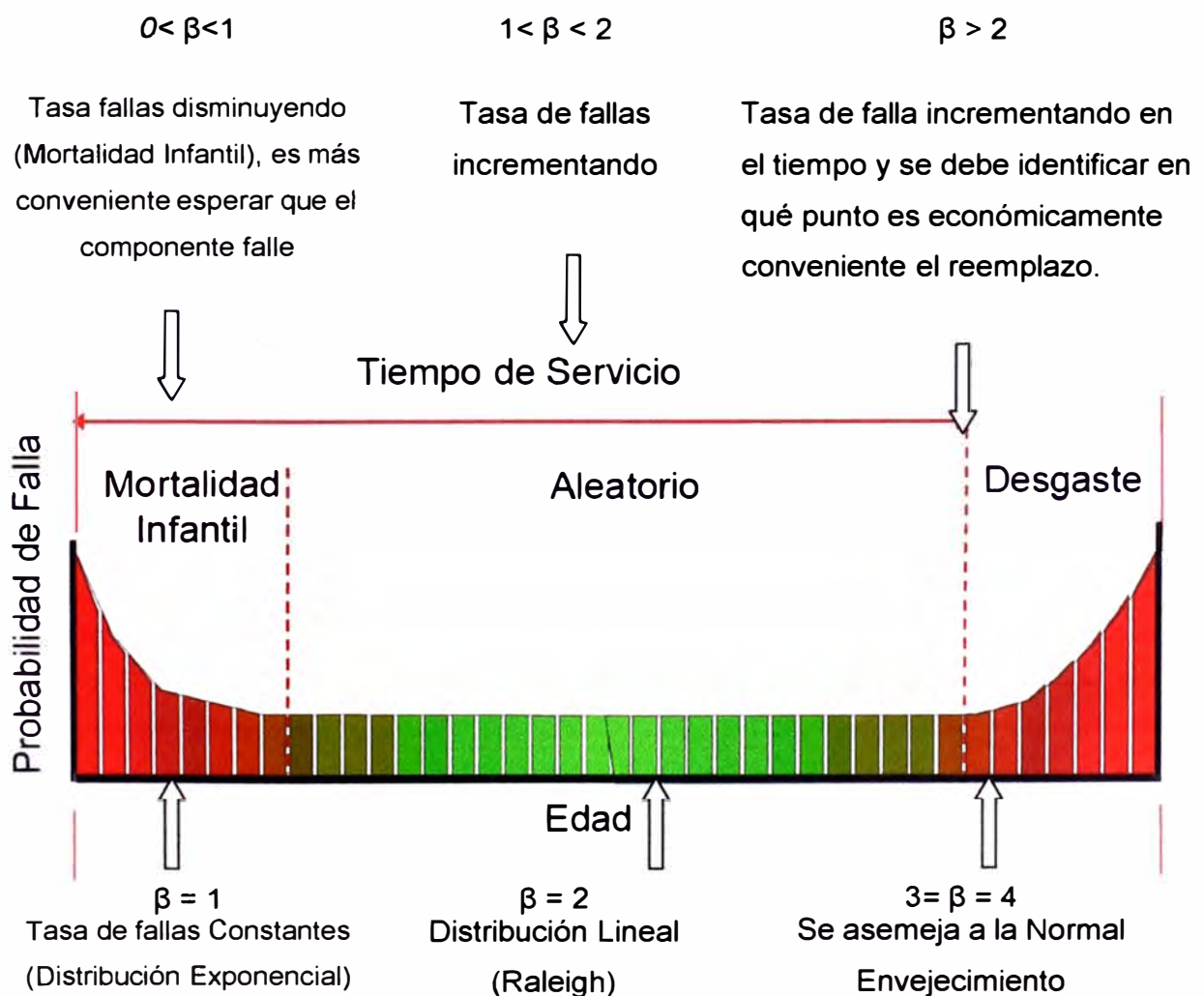


Figura 2.3 Distribución Weibull - Curva de la Bañera

2.4.2. Determinación de los parámetros por el método de los

Mínimos Cuadrados

El método de los mínimos cuadrados permite calcular los parámetros de forma y escala, mediante la transformación doble logarítmica de la función de distribución acumulativa

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.11)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.12)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.13)$$

El cálculo del parámetro de localización es más complejo, empleándose para ello rutinas de cálculo como el programa Solver de Excel

- Deducción de la ecuación lineal de regresión

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.14)$$

$$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.15)$$

$$\text{Ln}(1 - F(t)) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \dots\dots \dots \text{Aplicando logaritmo naturales}$$

$$\text{Ln}\left(\frac{1}{1-F(t)}\right) = \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \quad (2.16)$$

$$\text{Ln}\left(\text{Ln}\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) = \beta \cdot \text{Ln}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right) \dots \text{Aplicando logaritmo naturales}$$

$$\text{Ln}\left(\text{Ln}\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) = \beta \cdot \text{Ln}(t - \gamma) - \beta \cdot \text{Ln}(\eta) \quad (2.17)$$

- Realizando la similitud con la ecuación de la recta $y=ax-b$

$$\text{Ln}\left(\text{Ln}\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) = \beta \cdot \text{Ln}(t - \gamma) - \beta \cdot \text{Ln}(\eta) \quad (2.18)$$

$$\underbrace{\hspace{10em}}_y = \underbrace{\hspace{5em}}_{a \cdot x} - b$$

Donde:

$$y = \text{Ln} \left(\text{Ln} \left(\frac{1}{1-F(t)} \right) \right) \quad (2.19)$$

$$a = \beta \quad (2.20)$$

$$b = \beta \cdot \text{Ln}(\eta) \quad (2.21)$$

De la expresión de la ecuación de la recta se concluye que el parámetro de forma, β , es la pendiente de la recta de regresión

- Reemplazando a continuación en la expresión se observa que el parámetro de escala, η , está en función al intercepto b de la recta de regresión y del parámetro de escala; por lo tanto:

$$b = -\beta \cdot \text{Ln}(\eta) \quad (2.22)$$

$$-\frac{b}{\beta} = \text{Ln}(\eta) \quad (2.23)$$

$$\eta = e^{-\frac{b}{\beta}} \quad (2.24)$$

- Para poder trazar la recta de regresión, se debe calcular un estimador para la función de distribución acumulativa $F(x)$. Este estimador, llamado Rango de mediana, es un estimador no paramétrico basado en el orden de fallas. Este aspecto implica que la muestra de datos debe organizarse de menor a mayor (en forma ascendente)

2.4.3 Pazos de Cálculo de Parámetros de Forma, escala y Localización

- Primero se debe de ordenar los datos de menor a mayor, el criterio de ordenación debe ser el tiempo entre fallas tomar como referencia la Tabla 2.1. en donde se muestra los tiempos de falla de motores de la Pala Electrohidráulica RH90.

Tabla 2.1. Tiempos de falla ordenadas de menor a mayor

i	Codigo del Equipo	Numero de Serie del Componente	Tiempo entre fallas (hrs) " t "
1	PH-003	RH90C-1110-0048	4450
2	PH-004	RH90C-1110-0050	4890
3	PH-003	RH90C-1110-0049	5650
4	PH-004	RH90C-1110-0051	5850
5	PH-005	RH90C-1110-0053	6450
6	PH-006	RH90C-1110-0054	6750
7	PH-006	RH90C-1110-0055	7650
8	PH-005	RH90C-1110-0052	7960
9	PH-002	RH90C-1110-0046	8500
10	PH-002	RH90C-1110-0047	9500

- Una vez ordenado los datos se procederá con el cálculo del rango de la mediana para cada observación, en la tabla 2.2 se muestran las medianas calculadas usando la siguiente ecuación:

$$F(i) = \frac{i-0.3}{n+0.4}$$

Tabla 2.2 Medianas Calculadas

	A	B	C	D	E
4					
5	i	Codigo del Equipo	Numero de Serie del Componente	Tiempo entre fallas (hrs) " t "	$F_i = (i-0.3)/(n+0.4)$
6	1	PH-003	RH90C-1110-0048	4450	$=(A6-0.3)/(SAS15+0.4)$
7	$=A6+1$	PH-004	RH90C-1110-0050	4890	$=(A7-0.3)/(SAS15+0.4)$
8	$=A7+1$	PH-003	RH90C-1110-0049	5650	$=(A8-0.3)/(SAS15+0.4)$
9	$=A8+1$	PH-004	RH90C-1110-0051	5850	$=(A9-0.3)/(SAS15+0.4)$
10	$=A9+1$	PH-005	RH90C-1110-0053	6450	$=(A10-0.3)/(SAS15+0.4)$
11	$=A10+1$	PH-006	RH90C-1110-0054	6750	$=(A11-0.3)/(SAS15+0.4)$
12	$=A11+1$	PH-006	RH90C-1110-0055	7650	$=(A12-0.3)/(SAS15+0.4)$
13	$=A12+1$	PH-005	RH90C-1110-0052	7960	$=(A13-0.3)/(SAS15+0.4)$
14	$=A13+1$	PH-002	RH90C-1110-0046	8500	$=(A14-0.3)/(SAS15+0.4)$
15	$=A14+1$	PH-002	RH90C-1110-0047	9500	$=(A15-0.3)/(SAS15+0.4)$

- Calcule el logaritmo natural entre fallas para cada observación, observe que la función LN (número) de la columna "F", el parámetro de localización, el cual se obtiene de la celda F20, vale cero (primera suposición). Esto es importante, ya que la celda que contienen el parámetro de localización será la celda cambiante de Solver, en el caso que sea necesario calcular este

parámetro. En la tabla 2.3 se puede observar la metodología de cálculo

Tabla 2.3. Abscisas calculadas del diagrama weibull

i	Codigo del Equipo	Numero de Serie del Componente	Tiempo entre fallas (hrs) "t"	$F_i = i/(n+1)$	$x = \ln(t-y)$
1	PH-003	RH90C-1110-0048	4450	$= (A6-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D6-SFS20)$
=A6+1	PH-004	RH90C-1110-0050	4890	$= (A7-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D7-SFS20)$
=A7+1	PH-003	RH90C-1110-0049	5650	$= (A8-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D8-SFS20)$
=A8+1	PH-004	RH90C-1110-0051	5850	$= (A9-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D9-SFS20)$
=A9+1	PH-005	RH90C-1110-0053	6450	$= (A10-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D10-SFS20)$
=A10+1	PH-006	RH90C-1110-0054	6750	$= (A11-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D11-SFS20)$
=A11+1	PH-006	RH90C-1110-0055	7650	$= (A12-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D12-SFS20)$
=A12+1	PH-005	RH90C-1110-0052	7960	$= (A13-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D13-SFS20)$
=A13+1	PH-002	RH90C-1110-0046	8500	$= (A14-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D14-SFS20)$
=A14+1	PH-002	RH90C-1110-0047	9500	$= (A15-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D15-SFS20)$
$y = ax + b$ $y = \beta \ln(t) - \beta \ln(\eta)$				y = 4.0536	
				Parametro Forma	Beta β = F17
				Parametro Escala	eta η = EXP(I17/F17)
				Parametro Localización	Gama γ = 0

- Calcule el valor de la ordenada y, es decir el logaritmos del logaritmos del inverso de uno menos el rango de mediana para cada uno de las observaciones de la muestra, en la tabla 2.4 se puede observar la metodología del cálculo

Tabla 2.4. Ordenadas calculadas del diagrama weibull

i	Codigo del Equipo	Numero de Serie del Componente	Tiempo entre fallas (hrs) "t"	$F_i = i/(n+1)$	$x = \ln(t-y)$	$y = \ln(-\ln(R_i))$ $y = \ln(-\ln(1-F_i))$
1	PH-003	RH90C-1110-0048	4450	$= (A6-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D6-SFS20)$	$= \text{LN}(\text{LN}(1/(1-E6)))$
=A6+1	PH-004	RH90C-1110-0050	4890	$= (A7-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D7-SFS20)$	$= \text{LN}(\text{LN}(1/(1-E7)))$
=A7+1	PH-003	RH90C-1110-0049	5650	$= (A8-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D8-SFS20)$	$= \text{LN}(\text{LN}(1/(1-E8)))$
=A8+1	PH-004	RH90C-1110-0051	5850	$= (A9-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D9-SFS20)$	$= \text{LN}(\text{LN}(1/(1-E9)))$
=A9+1	PH-005	RH90C-1110-0053	6450	$= (A10-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D10-SFS20)$	$= \text{LN}(\text{LN}(1/(1-E10)))$
=A10+1	PH-006	RH90C-1110-0054	6750	$= (A11-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D11-SFS20)$	$= \text{LN}(\text{LN}(1/(1-E11)))$
=A11+1	PH-006	RH90C-1110-0055	7650	$= (A12-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D12-SFS20)$	$= \text{LN}(\text{LN}(1/(1-E12)))$
=A12+1	PH-005	RH90C-1110-0052	7960	$= (A13-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D13-SFS20)$	$= \text{LN}(\text{LN}(1/(1-E13)))$
=A13+1	PH-002	RH90C-1110-0046	8500	$= (A14-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D14-SFS20)$	$= \text{LN}(\text{LN}(1/(1-E14)))$
=A14+1	PH-002	RH90C-1110-0047	9500	$= (A15-0.3)/(SA\$15+0.4)$	$= \text{LN}(D15-SFS20)$	$= \text{LN}(\text{LN}(1/(1-E15)))$
$y = ax + b$ $y = \beta \ln(t) - \beta \ln(\eta)$				y = 4.0536		*
				Parametro Forma	Beta β = F17	
				Parametro Escala	eta η = EXP(I17/F17)	
				Parametro Localización	Gama γ = 0	

- Una vez obtenido los ordenadas y abscisas del diagrama Weibull, se procede a generar un gráfico con los puntos de las columnas F y G, en la figura 2.4 se observamos la distribución de los puntos

obtenidos y adicionalmente se ha calculado la ecuación de la recta

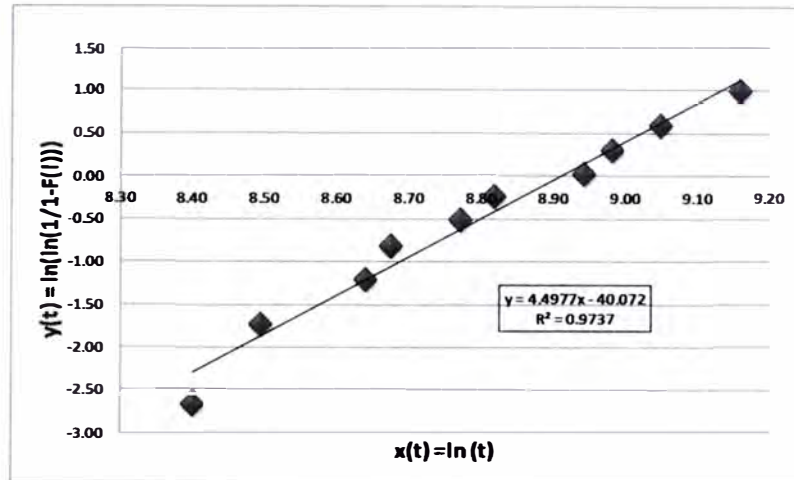


Figura 2.4. Trazado de la recta de regresión $\gamma=0$

- En cuanto el coeficiente de Correlación R^2 este mas próximo a 1 existirá una excelente relación (dependencia) lineal de los datos, en este caso el $R^2 = 0.97$, indica que el 97.37% de los datos están relacionados linealmente. En conclusión, estos valores indican que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull. En la tabla 2.5 se muestra el resumen de los tres parámetros con sus valores correspondientes.

Tabla 2.5. Parámetros de escala, forma y localización

	$\gamma =$	4.4977	x	-	40.072
Parametro Forma	Beta β	4.4977			
Parametro Escala	eta η	7402			
Parametro Localización	Gama γ	0			

- Para el cálculo del parámetro de Localización se usara el complemento Solver de Excel como se muestra en la tabla 2.6, este parámetro debe ser determinado por ensayo y error.

Tabla 2.6. Uso del Solver para el cálculo del parámetro de localización

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
57														
58														
59														
60	1	PH-003	RH90C-2150-0003	450	9%	6.10925	-2.35062		94.1%		V1	e	Tasa de Falta	Distribución de Probabilidad
61	2	PH-004	RH90C-2150-0005	3575	18%	8.18172	-1.60609		56.3%		-2.795	0.198	0.000119	1.12022E-02
62	3	PH-003	RH90C-2150-0004	4369	27%	8.38229	-1.14428		91.1%		-3.273	2.779	0.000092	8.38357E-03
63	4	PH-005	RH90C-2150-0008	6548	36%	8.78691	-0.79411		56.2%		2.371	1.505	0.000090	8.19901E-03
64	5	PH-006	RH90C-2150-0010	6956	45%	8.84736	-0.50065		46.9%		-0.551	0.059	0.000086	4.81278E-03
65	6	PH-004	RH90C-2150-0006	7457	55%	8.91691	-0.23768		55.6%		-0.279	0.049	0.000085	3.98988E-03
66	7	PH-005	RH90C-2150-0007	8357	64%	9.03085	0.01153		17.8%		0.034	0.074	0.000059	2.99649E-03
67	8	PH-006	RH90C-2150-0009	12345	73%	9.42101	0.26181		0.0%		0.546	0.286	0.000083	1.47861E-03
68	9	PH-002	RH90C-2150-0001	15465	82%	9.64633	0.53342		0.0%		2.301	4.158	0.000079	3.65870E-07
69	10	PH-002	RH90C-2150-0002	22000	91%	9.98880	0.87459		0.0%		3.314	7.733	0.000077	8.75083E-15
70														
71														
72														
73														
74														
75														
76														
77														
78														
79														
80	1	PH-003	RH90C-4711-0004	11546	9%	9.35409	-2.35062							
81	2	PH-004	RH90C-4711-0005	11898	18%	9.36717	-1.60609							
82	3	PH-003	RH90C-4711-0003	12043	27%	9.39624	-1.14428							
83	4	PH-004	RH90C-4711-0006	12134	36%	9.40377	-0.79411							
84	5	PH-005	RH90C-4711-0008	12256	45%	9.41377	-0.50065							
85														

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
71													
72													
73													
74													
75													
76													
77													
78													
79													
80													
81													
82													
83													
84													
85													

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
71													
72													
73													
74													
75													
76													
77													
78													
79													
80													
81													
82													
83													
84													
85													

2.4.4 Curvas características y MTBF (Tiempo medio entre fallas)

Las curvas características a representar para cada componente corresponderán a la Curva de Confiabilidad (R(t)), la tasa de falla (λ(t)), y la función de distribución de probabilidad de falla (f(t)). Además de el tiempo entre fallas (MTBF) todos estos a partir de los datos calculados anteriormente.

La curva de confiabilidad está determinada según el modelo de Weibull, según la expresión:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{2.25}$$

Por otro lado, la curva de tasa de falla está dada por la siguiente ecuación

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \tag{2.26}$$

Por otra parte, la curva de distribución de probabilidad de falla, corresponde a l producto de las dos anteriores:

$$f(t) = \lambda(t).R(t) \tag{2.27}$$

Finalmente el MTBF, es calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$MTBF = \gamma + \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.28)$$

Para hacer el cálculo mas fácil, podemos escribir la siguiente ecuación en el

Excel : “ = $\gamma + \eta \cdot \exp(\text{gamma} \cdot \ln(1 + 1/\beta))$ “

CAPITULO III.

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS

3.1 DESCRIPCION DE PALA ELETROHIDRÁULICA RH90

Las palas electrohídricas vienen en dos versiones Backhole (función retroexcavadora) y face shovel (palas frontales), la elección de las mismas depende del diseño de la mina, en este informe nos enfocaremos en las pala RH90 face shovel, cuyo significado es el siguiente:

R = Tipo de carrilera, en este caso la letra designa al estilo

H = Excavadora Hidráulica (Hydraulic excavator)

90 = Era el indicador de la medida estándar del cucharón (9m³).

Ahora el cucharón estándar es de 10 m³

C= Tipo de serie de Manufactura.

En la figura 3.1 se observa las características de la Pala Electrohídrica

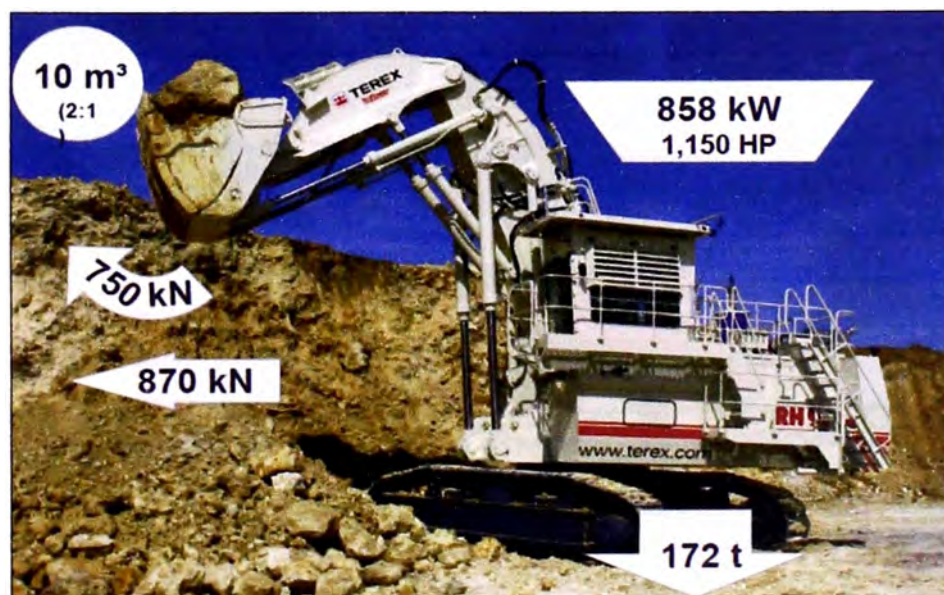


Figura 3.1 Pala RH90C – Especificaciones

El equipo se divide en 4 módulos mayores:

- Carrilería (Undercarriage)
- Superestructura (Superstructure)
- Equipo de Trabajo (Working Equipment)
- Sistema Eléctrico (Electrical System)

3.1.1. Carrilería (Undercarriage).-

Es la que permite obtener todos los movimientos para la traslación de la máquina y soporta todo el peso de la misma, está compuesto por:

- Rodillos de Carga (Load Roller – “1”),
- Rodillos guía (Carry Roller – “2”)
- Corona de Giro (Swing Bearing – “3”)
- Sistema de tensado de Cadenas(Track Tensioning – “4”)
- Mandos Finales (Final Drive – “5”)
- Rueda Guía (Idler – “6”)
- Cadenas (Track-“7”)

En la figura 3.2. Podremos observar la ubicación de estos componentes en la Pala Electrohidráulica RH90.

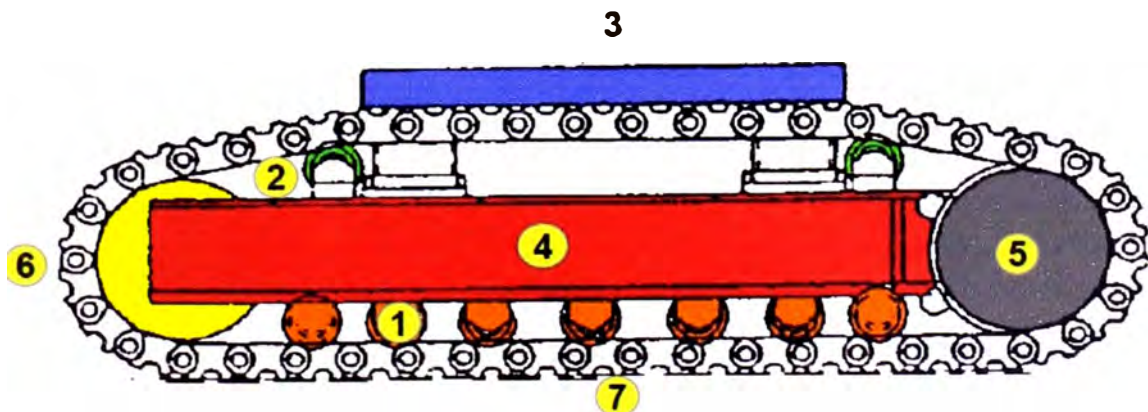


Figura 3.2. Carrilería de Pala RH90C

3.1.2. Superestructura (Superstructure).-

Es el módulo más importante de la pala en donde se encuentran todos los generadores de la energía para proveer de movimiento al equipo, y está constituido por:

- Motores (Engines - Cat C18 – “1”)
- Caja de engranaje (Gearboxes with Hydraulic Pumps – “2”)
- Radiadores de motor (Engine Radiators - “3”)
- Enfriadores de aceite hidráulicos (Hydraulic Oil Coolers – “4”)
- Tanque hidráulico (Hydraulic Tank – “5”),
- Slew Boxes (“6”)
- Rotary Distributer (“7”)
- Válvulas de traslación (Travel Valves-“8”)
- Baterías (Batteries – “9”),
- Asiento de Operador (Operators Seat –“10”)
- Columna del BCS(BCS Column-“11”)
- Asiento auxiliar (Auxiliary Seat – “12”)
- Cabina X1 (X1 Cabinet – “13”)
- Cabina X15 (X15 Cabinet – “14”)

En la figura 3.3 se observa la ubicación de todos estos componentes en la Pala Electrohidráulica RH90

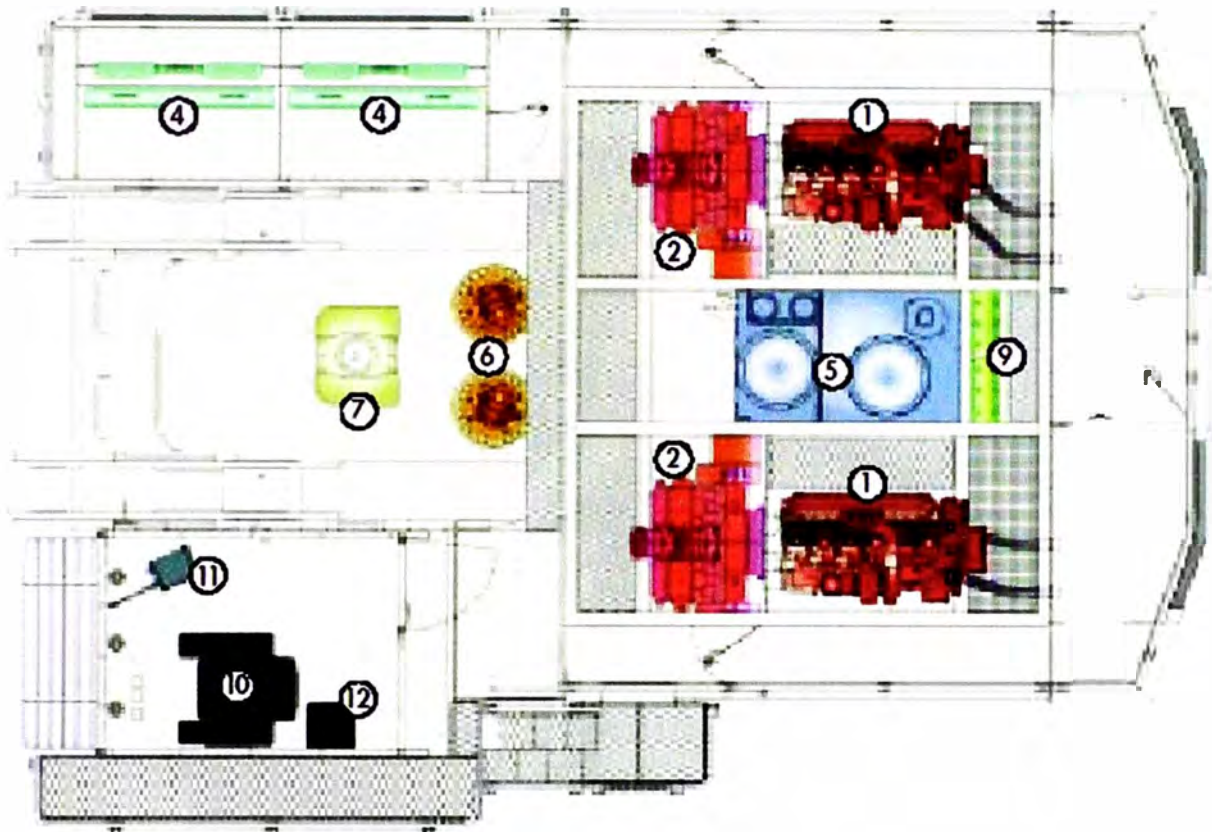


Figura 3.3. Superestructura de Pala RH90C

3.1.3. Equipo de Trabajo (Working Equipment).-

Está constituida por todos los elementos que intervienen directamente con el carguío y está compuesto por :

- Cucharon (Bucket – “1”)
- Stick (“2”)
- Boom (“3”)
- Tripower (“4”)
- Válvulas de control y flotación (Float and Main Control Valves – “5”)
- Cilindros (Cylinders)

En la figura 3.4 se observa la ubicación de todos estos componentes en la Pala Electrohidráulica RH90

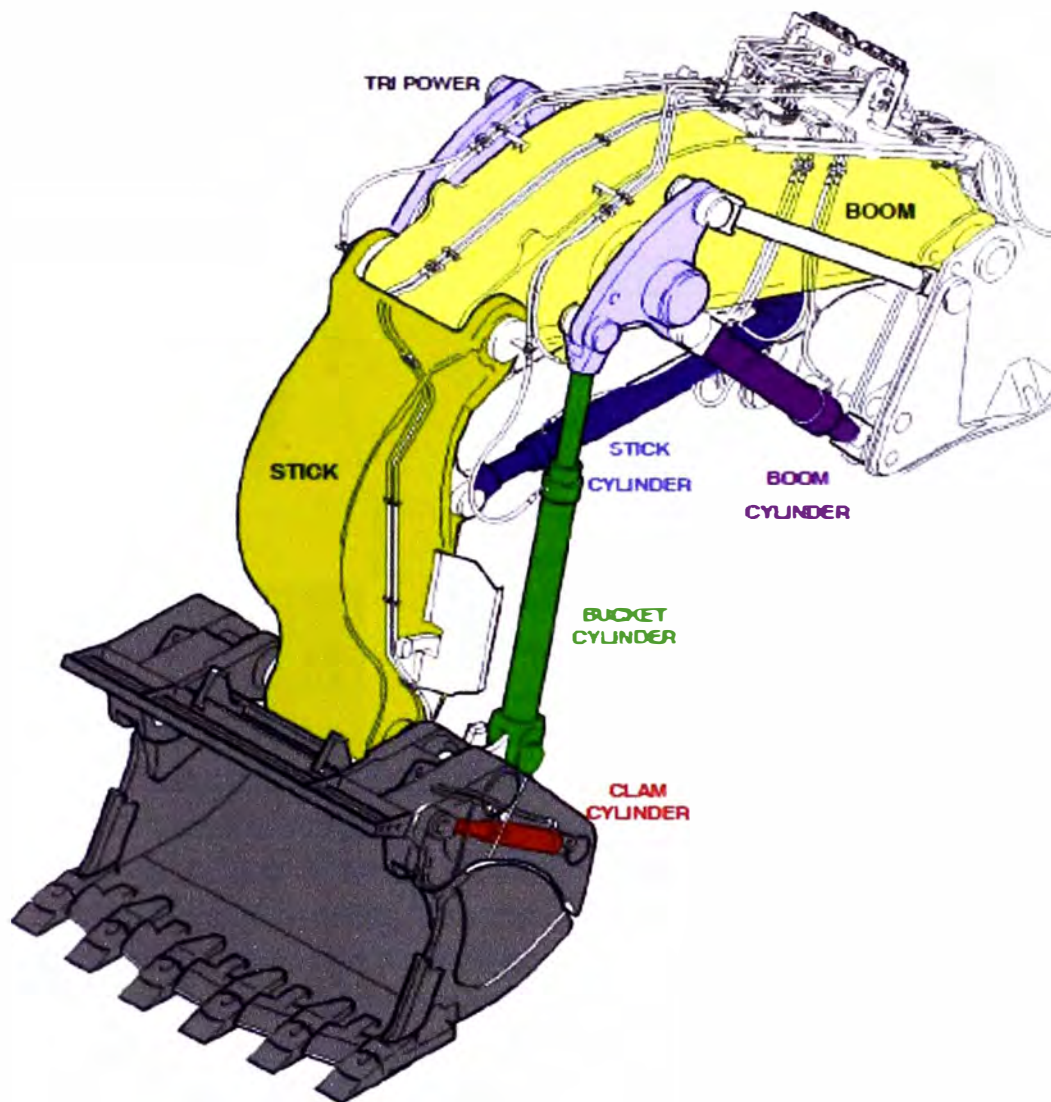


Figura 3. 4. Equipo de Trabajo de Pala RH90C

3.1.4 Sistema Eléctrico (Electrical System).-

Está constituida por todos los elementos que intervienen directamente con el carguío y está compuesto por :

- El BCS
- La cabina Eléctrica X1
- La cabina Eléctrica X15
- La cabina Eléctrica X150

En la figura 3.5 se observa la ubicación de todos estos componentes en la Pala Electrohidráulica RH90

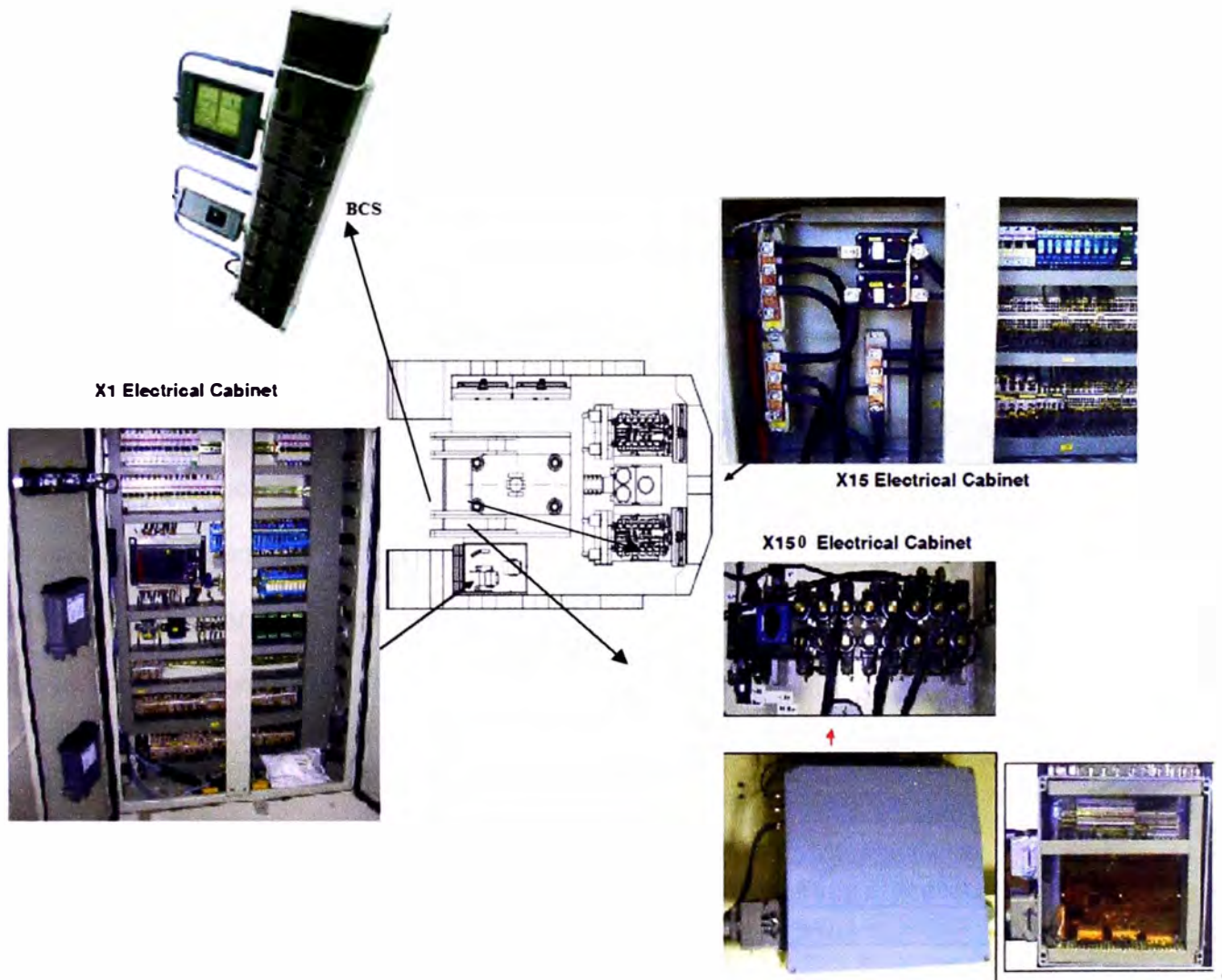


Figura 3. 5. Sistema eléctrico Pala RH90

CAPITULO IV.

APLICACIÓN A LAS PALAS HIDRAULICAS

En este capítulo se realizaron análisis de Weibull para 4 componentes mayores (Motores de Combustión interna, Bombas principales de Trabajo, Caja de Engranajes y Bomba de Giro) estudiados en los distintos frentes de operaciones , los cuales comprenden los periodos de Enero 2010 hasta Marzo del 2012. De los datos obtenidos se realizó un seguimiento por componente considerando solo las fallas que implican que el componente haya sido enviado se envió a un taller autorizado para su respectiva reparación, la relación y ubicación de las palas que fueron consideradas para su estudio se detallan en la tabla 4.1

Tabla 4.1. Relación de los equipos a Estudiar

Ítem	Equipo	Descripción	Número de serie	Localización
1	PH-00003	Bucyrus RH90C	90416	Mina el Brocal
2	PH-00004	Bucyrus RH90C	90154	Mina el Brocal
3	PH-00002	Terex RH90C	90120	Mina Shougang
4	PH-00005	Bucyrus RH90C	90158	Mina La Arena
5	PH-00006	Bucyrus RH90C	90161	Mina La Arena

4.1. Caculo de Parámetros de Forma, Escala y Localización

4.1.1. Motores de Combustión Interna

Para realizar el análisis de Weibull se trabaja con los datos representados en el análisis de vida de la Figura 4.1, donde se

representa las mantenciones correctivas, estos datos han sido extraídos del historial de cada Pala Electrohidráulica.

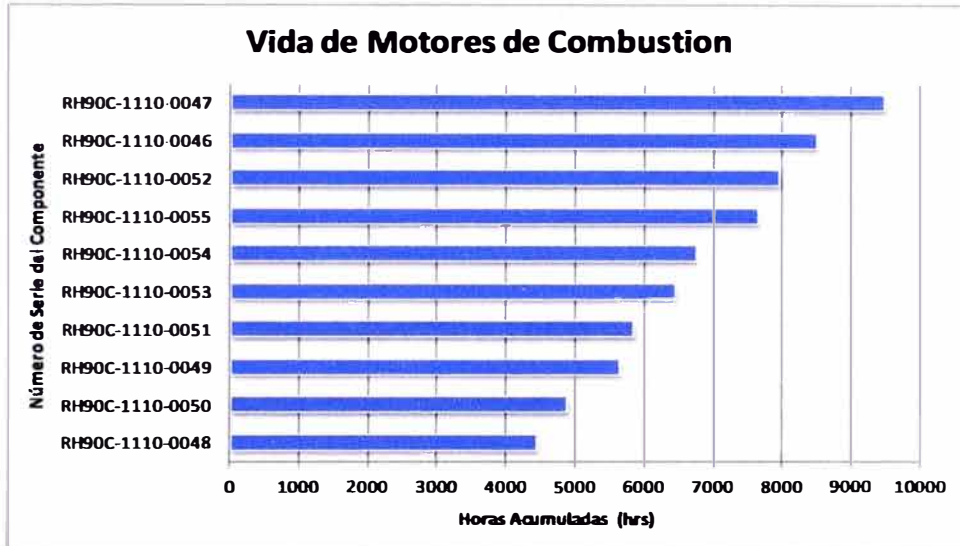


Figura 4.1. Vida de los motores de Combustión ²

Luego se obtienen los parámetros de Weibull $\beta = 4.4977$, $\eta = 7402$ hrs. $\gamma = 0$ y procedemos a graficar los parámetros calculados en la figura 4.2..

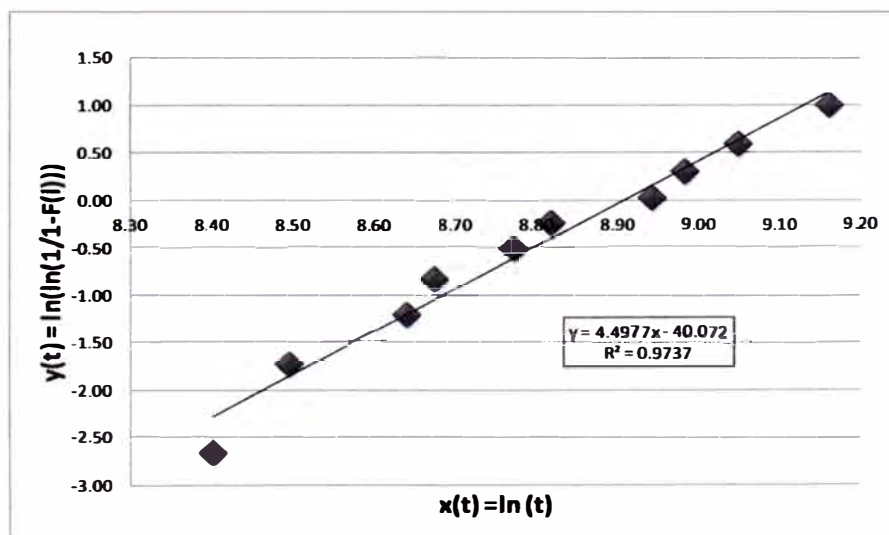


Figura 4.2. Weibull del Motor de Combustión ³

² La base de datos utilizados en este informe se encuentran en los Anexos, estos datos fueron extraídos del software de mantenimiento AMT

³ Para la obtención del gráfico se tiene que seguir la metodología descrita en el capítulo II, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

4.1.2. Bombas Principales de Trabajo

Para realizar el análisis de Weibull se trabaja con los datos representados en el análisis de vida de la figura 4.3, donde se representa las mantenciones correctivas, estos datos han sido extraídos del historial de cada Pala Electrohidráulica

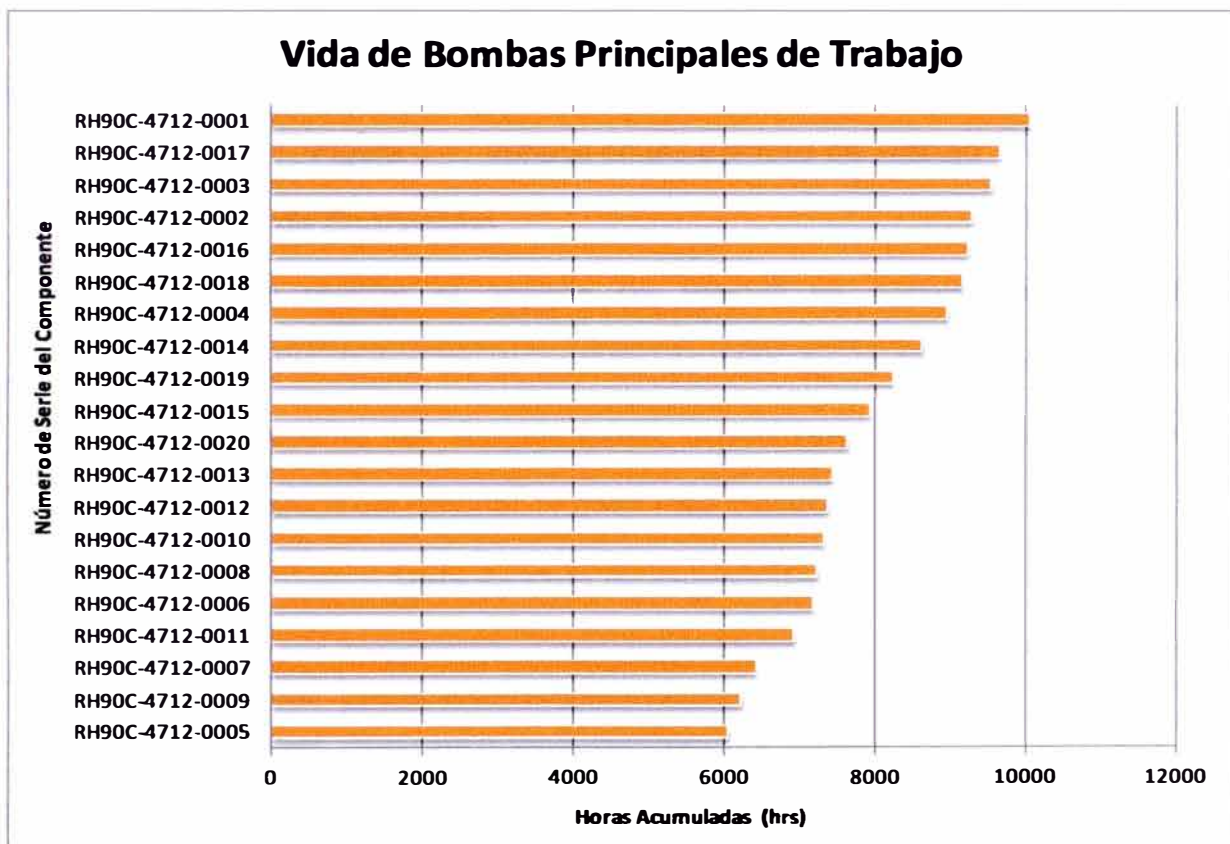


Figura 4.3. Vida de las Bombas de Trabajo⁴

Luego se obtienen los parámetros de Weibull $\beta = 2.085$, $\eta = 3024$ hrs. , $\gamma = 5380$ hrs y procedemos a graficar los parámetros calculados en la figura 4.4.

⁴ La base de datos utilizados en este informe se encuentran en los anexos, estos datos fueron extraídos del software de mantenimiento AMT

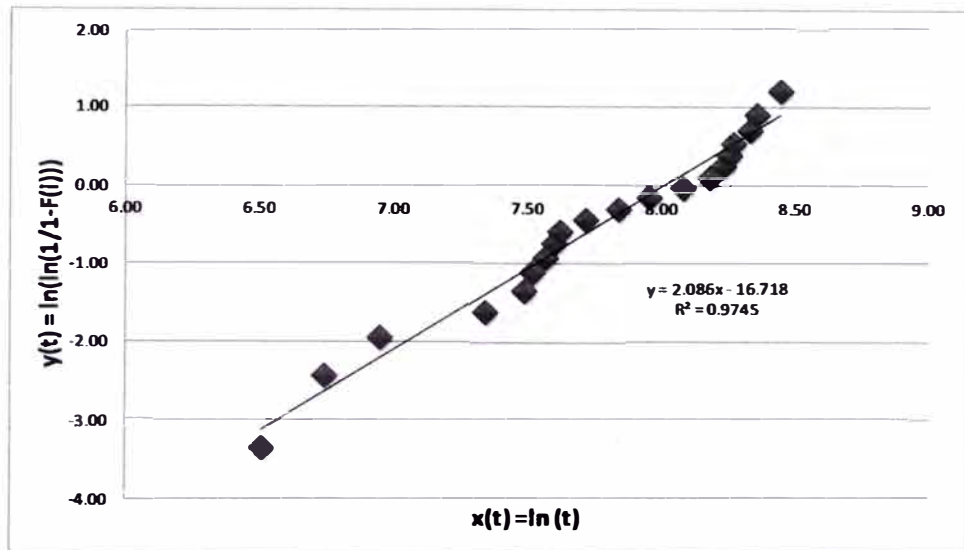


Figura 4.4. Weibull de las Bombas de Trabajo ⁵

4.1.3. Caja de Engranajes

Para realizar el análisis de Weibull se trabaja con los datos representados en el análisis de vida de la figura 4.5, donde se representa las mantenciones correctivas, estos datos han sido extraídos del historial de cada Pala Electrohidráulica

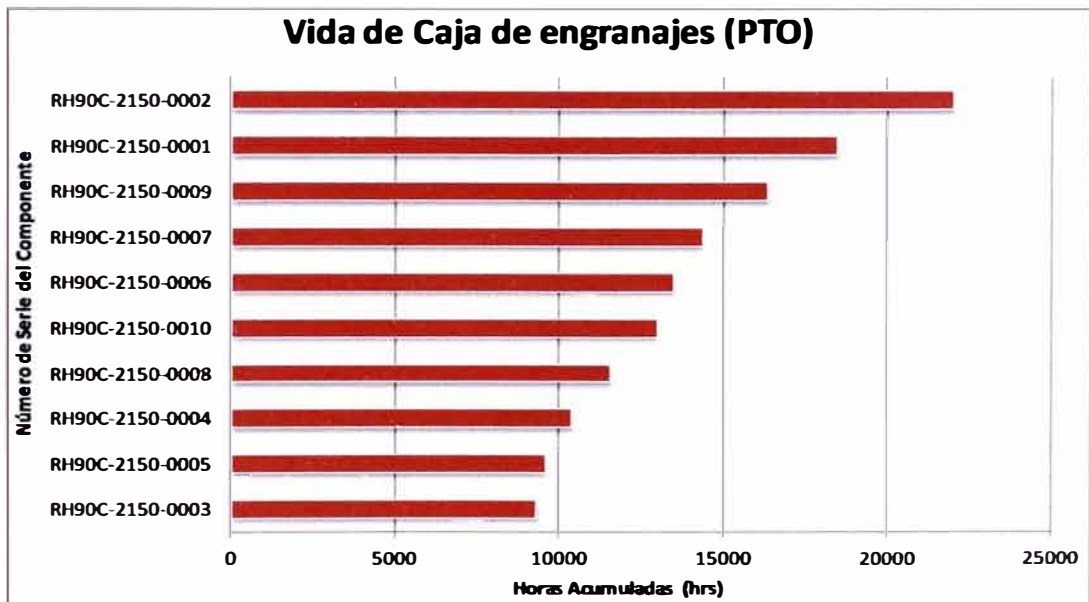


Figura 4.5. Vida de Caja de Engranajes ⁶

⁵ Para la obtención del gráfico se tiene que seguir la metodología descrita en el capítulo II, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

⁶ La base de datos utilizados en este informe se encuentran en los anexos, estos datos fueron extraídos del software de mantenimiento AMT

Luego se obtienen los parámetros de Weibull $\beta = 3,37$, $\eta = 15428$ hrs., $\gamma = 0$ hrs y procedemos a graficar los parámetros calculados en la figura 4.6.

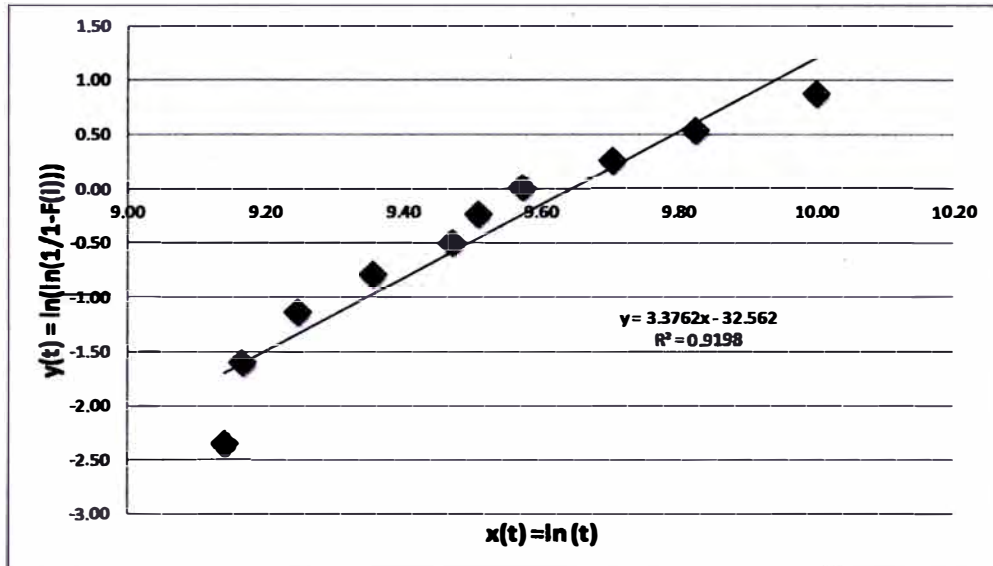


Figura 4.6. Weibull de las Cajas de Engranaje ⁷

4.1.4. Bombas de Giro

Para realizar el análisis de Weibull se trabaja con los datos representados en el análisis de vida de la figura 4.7, donde se representa las mantenciones correctivas, estos datos han sido extraídos del historial de cada Pala Electrohidráulica

⁷ Para la obtención del gráfico se tiene que seguir la metodología descrita en el capítulo II, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos



Figura 4.7. Vida de Bombas de Giro⁸

Luego se obtienen los parámetros de Weibull $\beta = 2.9136$, $\eta = 6323$ hrs., $\gamma = 7554.75$ hrs y procedemos a graficar los parámetros calculados en la figura 4.8.

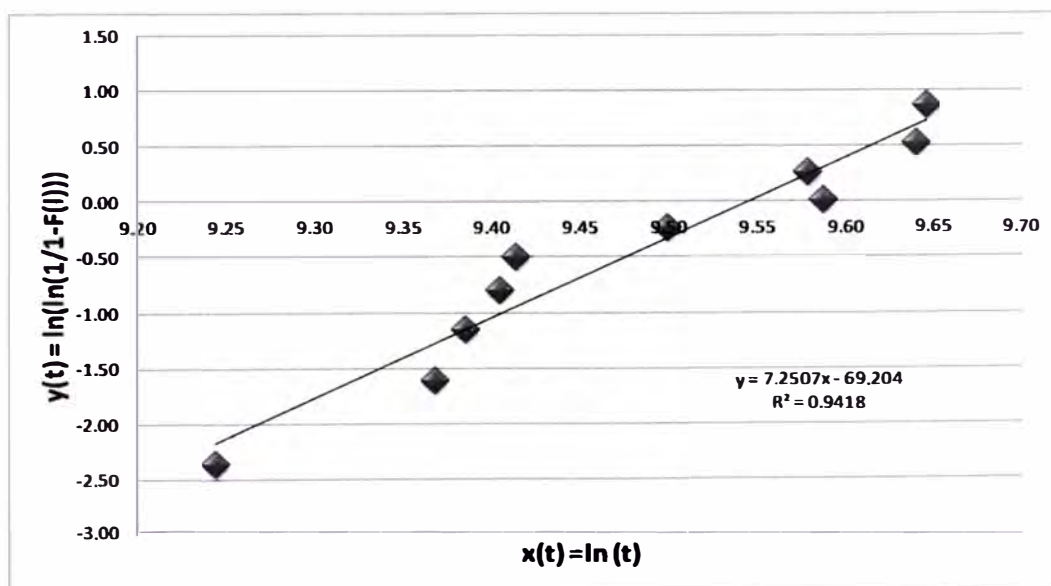


Figura 4.8. Weibull de Bombas de Giro⁹

⁸ La base de datos utilizados en este informe se encuentran en los anexos, estos datos fueron extraídos del software de mantenimiento AMT

⁹ Para la obtención del gráfico se tiene que seguir la metodología descrita en el capítulo II, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

4.1.5. Resumen de Parámetros Weibull

La tabla 4.2. se muestra el resumen de los parámetros de Weibull a partir del análisis previamente explicado

Tabla 4.2. Resumen de parámetros de weibull

Componente	β	η (hrs)	γ (hrs)
Motor de combustión interna	4.4977	7402	0
Bomba principal de trabajo	2.085	3024	5380
Caja de engranaje	3.376	15428	0
Bomba de Giro	2.9136	6323	7554

4.2. Curvas Características y MTBF

4.2.1. Motores de Combustión Interna

Con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente, procedemos a trazar la curva de confiabilidad; en la figura 4.9 podemos observar la curva de confiabilidad.

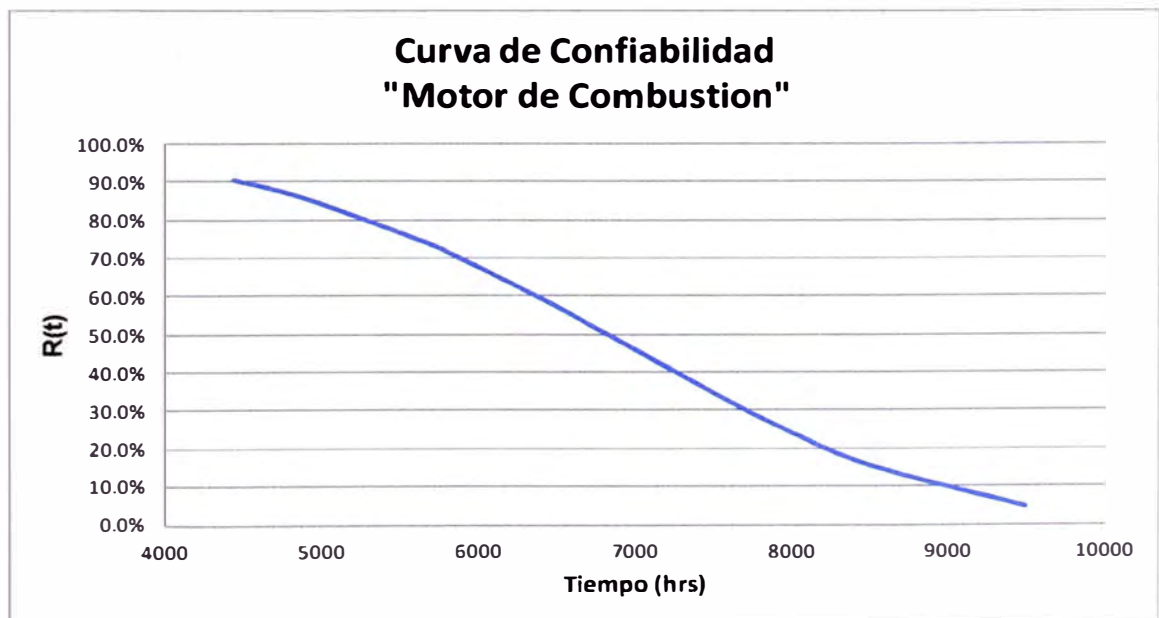


Figura 4.9. Curva de Confiabilidad Motor de Combustión¹⁰

¹⁰ Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.25 procedemos a trazar la curva de confiabilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

En la Figura 4.10 observamos la tasa de falla, esta curva es trazada con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente.

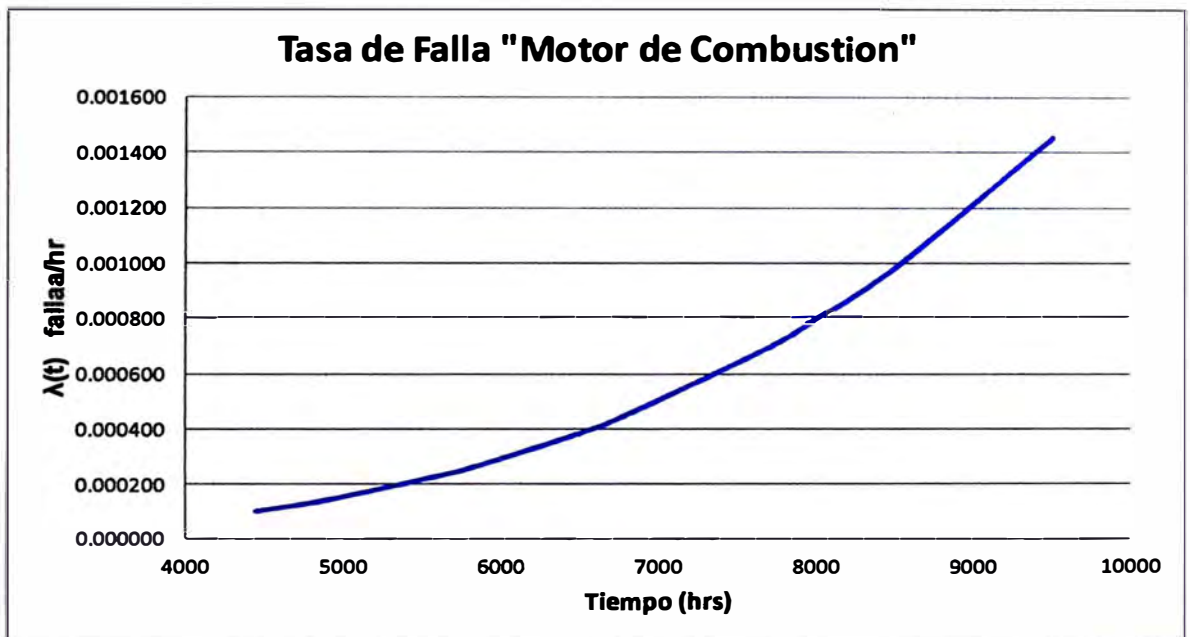


Figura 4.10. Tasa de Falla de Motor de Combustión¹¹

En la Figura 4.11 observamos la tasa de Función Distribución de Probabilidad, esta curva es trazada con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente.

¹¹ Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.26 procedemos a trazar la tasa de falla, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

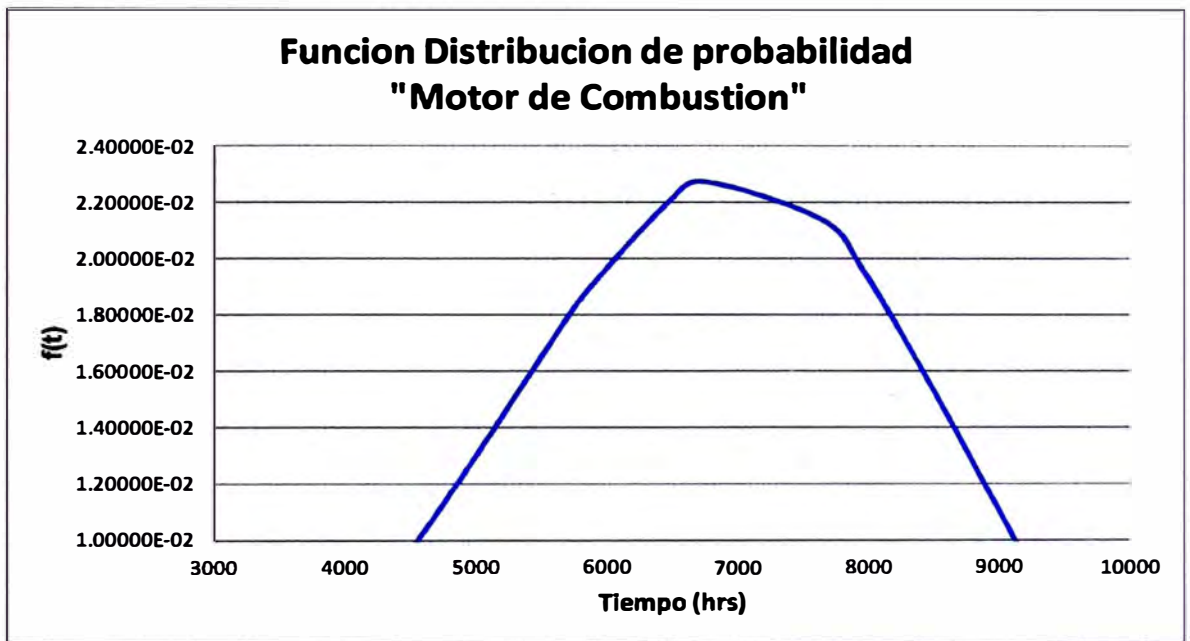


Figura 4.11. Función Densidad de Probabilidad de falla Motor de Combustión¹²

Finalmente el MTBF "Tiempo medio entre fallas" será:

$$MTBF = \gamma + \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Calculando se obtiene:

$$MTBF = 6754 \text{ Hrs}$$

¹² Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.27 procedemos a trazar la Función Distribución de Probabilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

4.2.2. Bombas principales de Trabajo

Con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente, procedemos a trazar la curva de confiabilidad; en la figura 4.12 podemos observar la curva de confiabilidad.

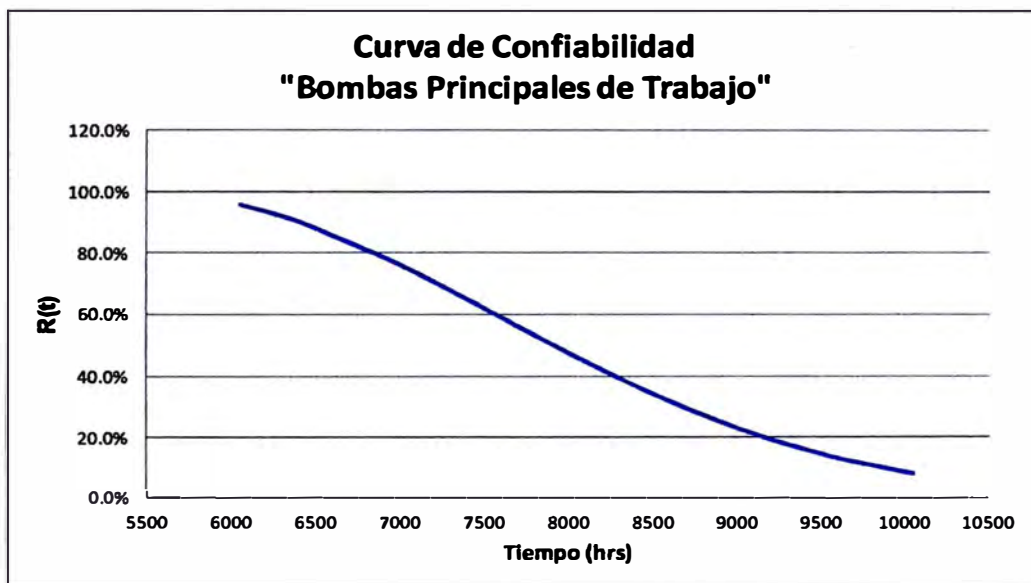


Figura 4.12. Curva de Confiabilidad Bombas Principales de Trabajo¹³

En la Figura 4.13 observamos la tasa de falla, esta curva es trazada con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente.

¹³ Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.25 procedemos a trazar la curva de confiabilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

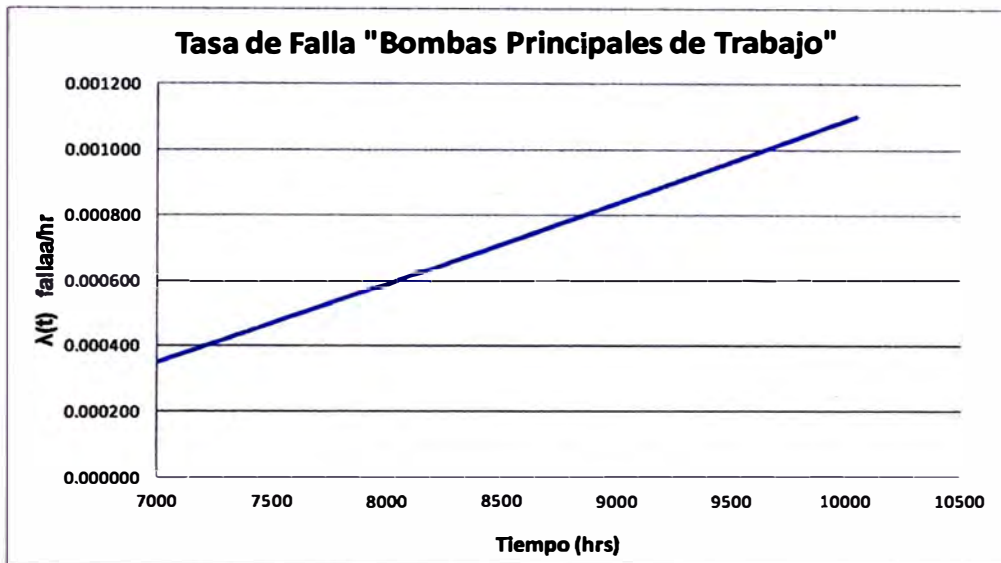


Figura 4.13. Tasa de Falla de Bombas Principales de Trabajo¹⁴

En la Figura 4.14 observamos la tasa de Función Distribución de Probabilidad, esta curva es trazada con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente.

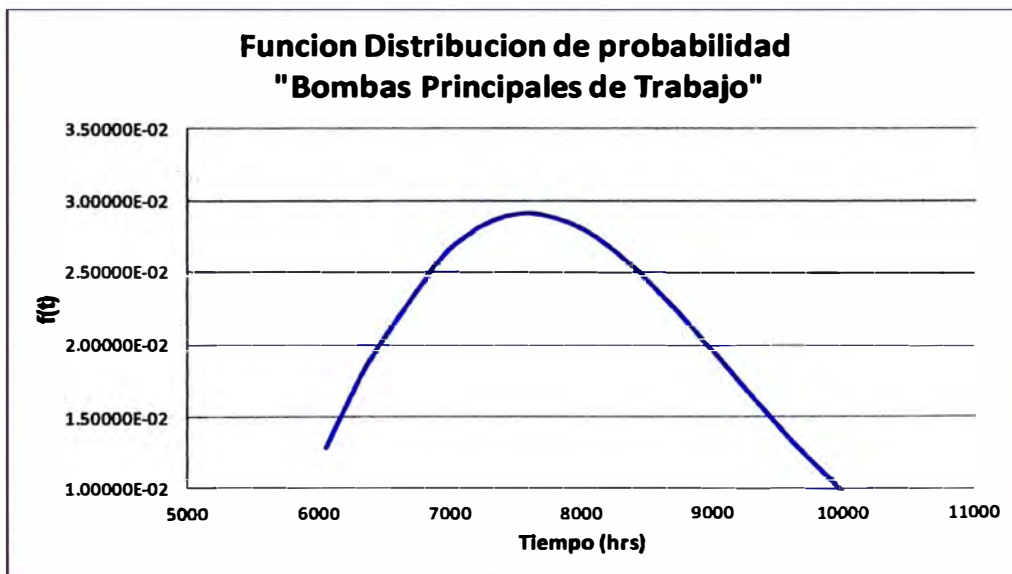


Figura 4.14. Función de distribución de probabilidad de Bombas principales de Trabajo¹⁵

¹⁴ Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.26 procedemos a trazar la tasa de falla, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

¹⁵ Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.27 procedemos a trazar la Función Distribución de Probabilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

Finalmente el MTBF "Tiempo medio entre fallas" será:

$$MTBF = \gamma + \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Calculando se obtiene:

$$MTBF = 8059 \text{ Hrs}$$

4.2.3. Cajas de Engranajes

Con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente, procedemos a trazar la curva de confiabilidad; en la figura 4.15 podemos observar la curva de confiabilidad.

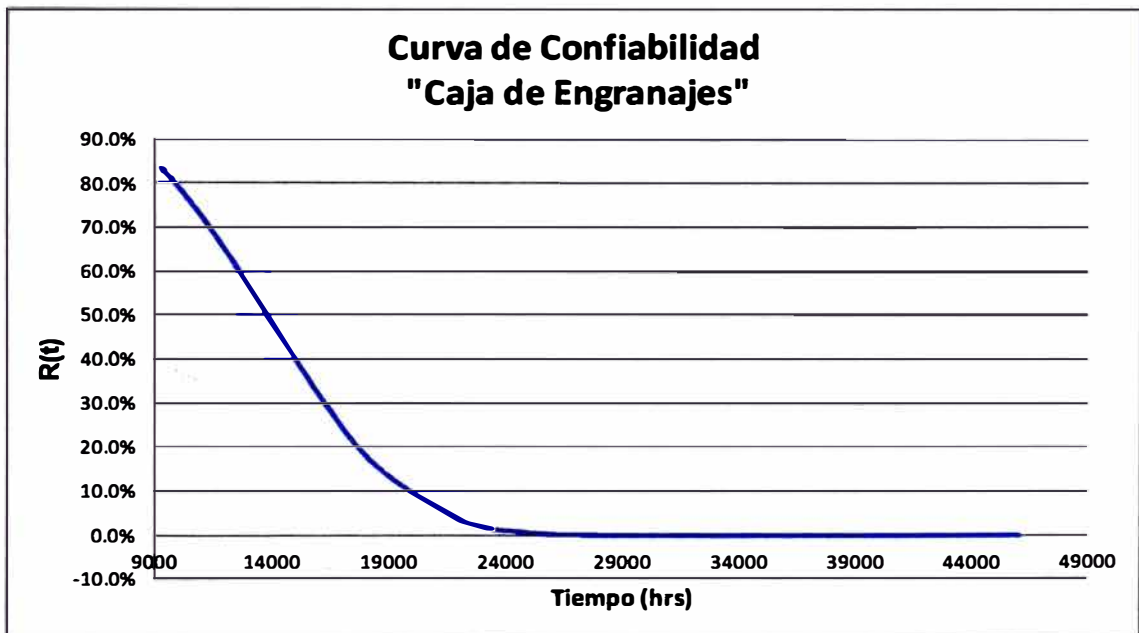


Figura 4.15. Curva de Confiabilidad Caja de Engranaje¹⁶

En la Figura 4.16 observamos la tasa de falla, esta curva es trazada con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente.

¹⁶ Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.25 procedemos a trazar la curva de confiabilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

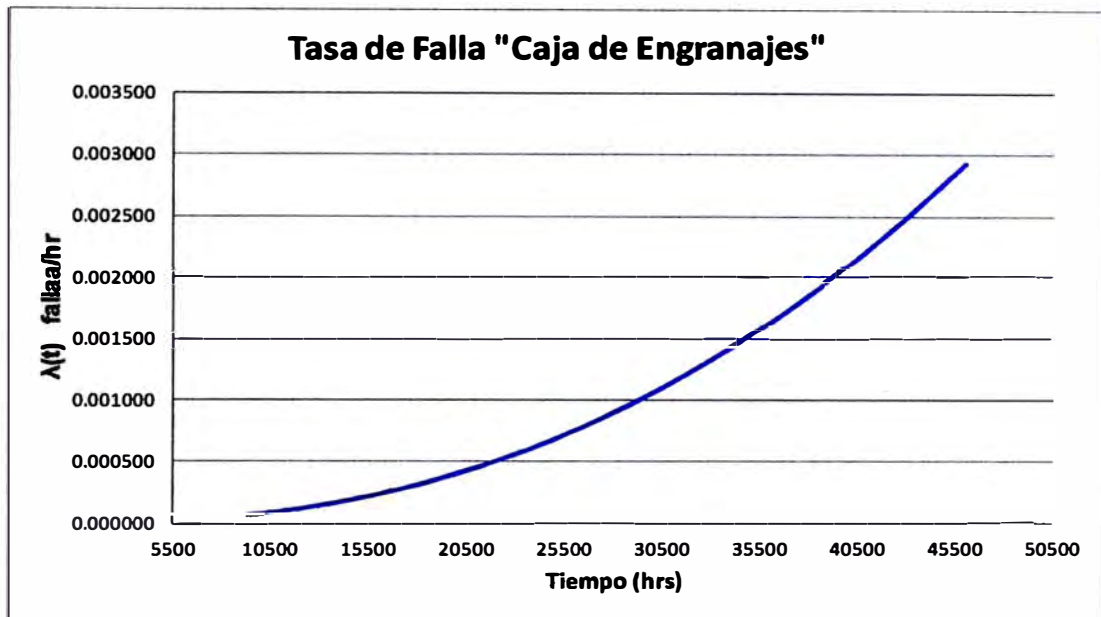


Figura 4.16. Tasa de Falla de Caja de Engranajes¹⁷

En la Figura 4.17 observamos la tasa de Función Distribución de Probabilidad, esta curva es trazada con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente.

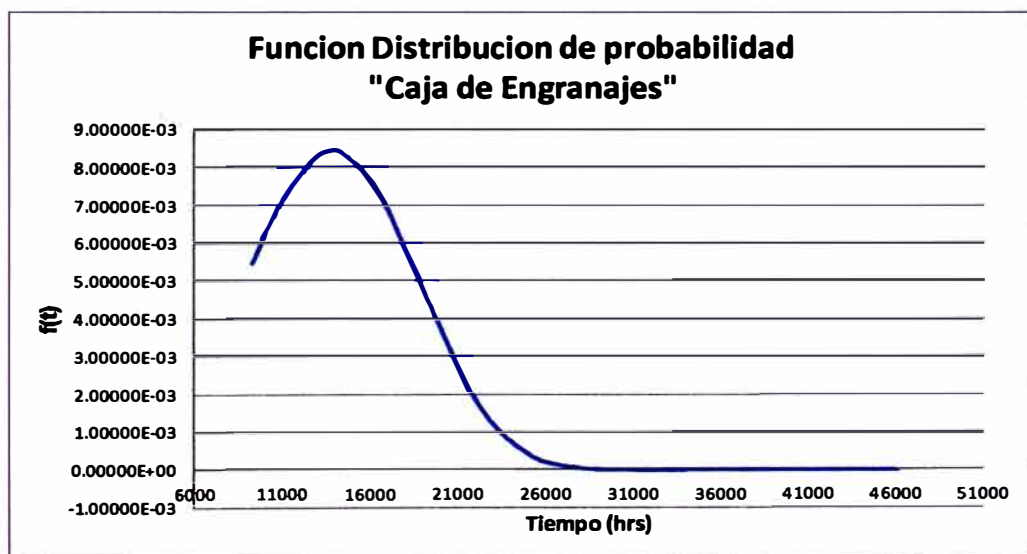


Figura 4.17. Función de distribución de probabilidad de Caja de Engranajes¹⁸

¹⁷ Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.26 procedemos a trazar la tasa de falla, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

¹⁸ Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.27 procedemos a trazar la Función Distribución de Probabilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

Finalmente el MTBF "Tiempo medio entre fallas" será:

$$MTBF = \gamma + \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Calculando se obtiene:

$$MTBF = 13855 \text{ Hrs}$$

4.2.4. Bombas de Giro

Con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente, procedemos a trazar la curva de confiabilidad; en la figura 4.18 podemos observar la curva de confiabilidad.

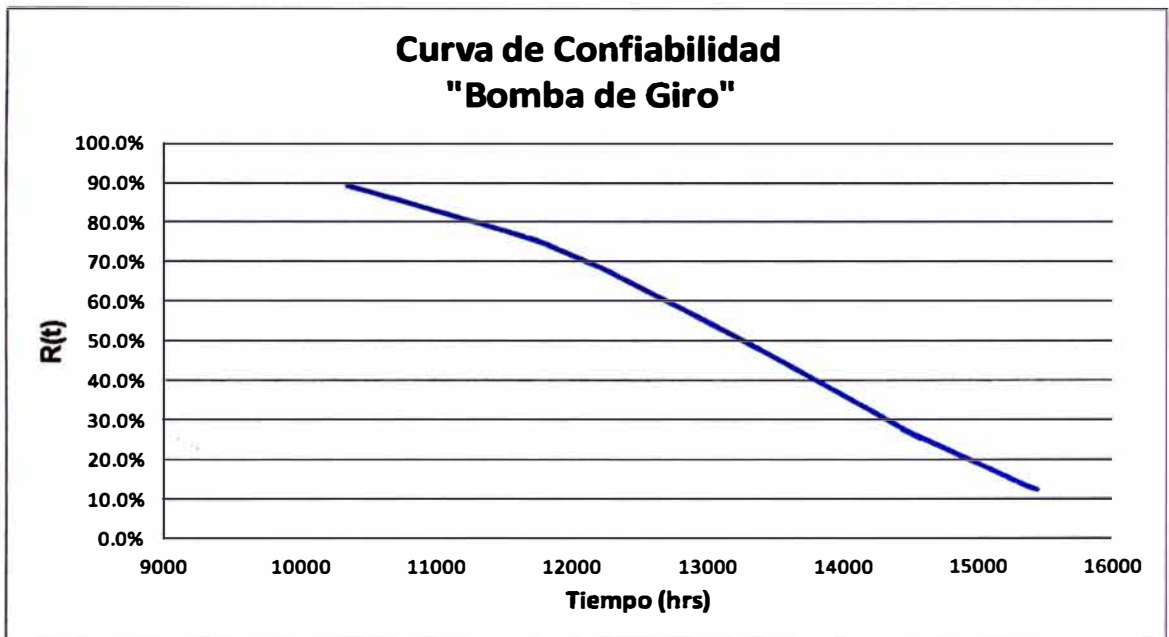


Figura 4.18. Curva de Confiabilidad Bomba de Giro¹⁹

En la Figura 4.19 observamos la tasa de falla, esta curva es trazada con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente

¹⁹ Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.25 procedemos a trazar la curva de confiabilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

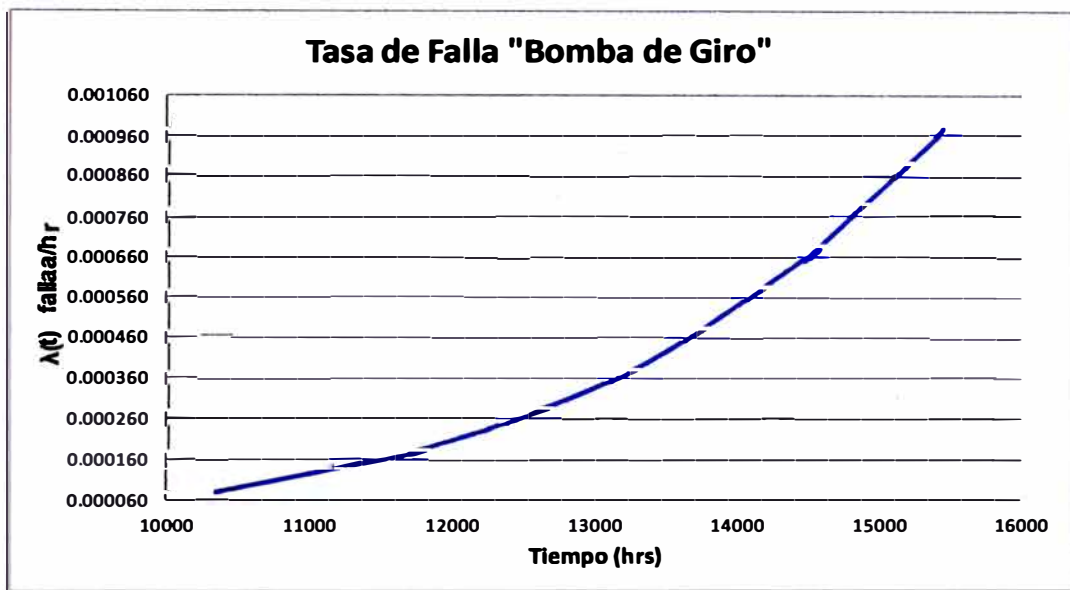


Figura 4.19. Tasa de Falla de Bomba de Giro²⁰

En la Figura 4.20 observamos la tasa de Función Distribución de Probabilidad, esta curva es trazada con los parámetros de forma, escala y localización ya calculados anteriormente.

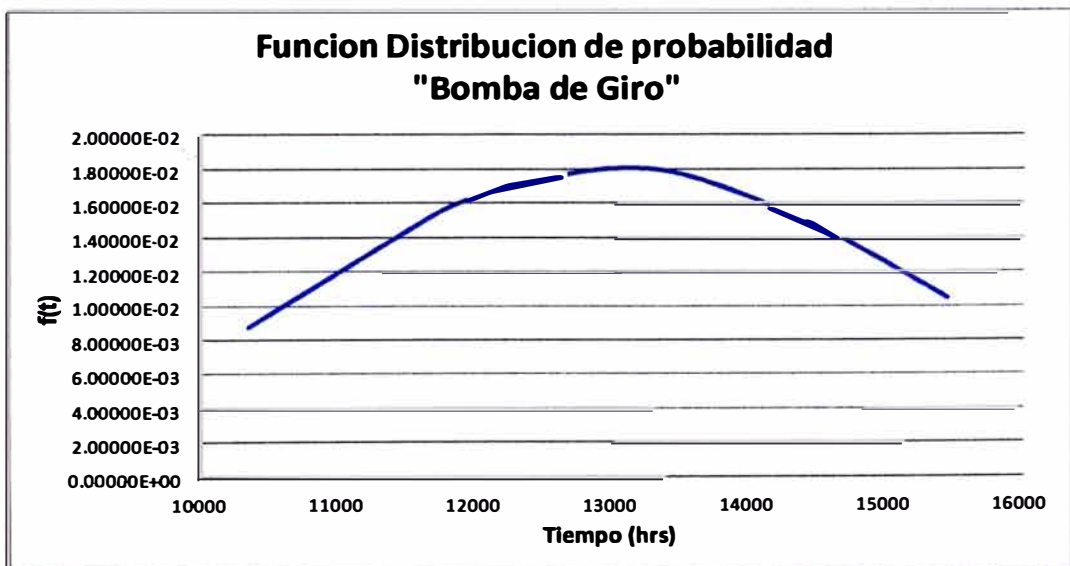


Gráfico 4.20. Función de distribución de probabilidad de Caja de Engranajes²¹

²⁰ Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.26 procedemos a trazar la tasa de falla, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

²¹ Utilizando los parámetros de la tabla 4.2 y haciendo uso de la ecuación 2.27 procedemos a trazar la Función Distribución de Probabilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

Finalmente el MTBF "Tiempo medio entre fallas" será:

$$MTBF = \gamma + \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Calculando se obtiene:

$$MTBF = 13194 \text{ Hrs}$$

4.2.5. Resumen de MTBF

En la Tabla 4.3 se muestran los MTBF "Tiempo medio entre Fallas" para componente en particular

Tabla 4.3. Resumen MTBF "Tiempo medio entre Fallas"

Componente	MTBF (Hrs)
Motor de combustión interna	6754
Bomba principal de trabajo	8059
Caja de engranaje	13855
Bomba de Giro	13194

CAPITULO V.

ESTRATEGIA ÓPTIMA DE MANTENIMIENTO

5.1. Criterio de Indisponibilidad

En esta parte definiremos la estrategia óptima de mantención, es decir el tiempo entre intervenciones (TBO), según el criterio de minimización de la indisponibilidad, la cual queda definida por la ecuación:

$$D(T_S) = 1 - \frac{MTBI}{MTBI + vT_r R(T_S) + T_r(1 - R(T_S))} \quad (5.1)$$

Donde:

T_0 : Tiempo que requiere una intervención preventiva

T_r : Tiempo que requiere una intervención correctiva

T_S : Intervalo entre Overhauls

γ : $\frac{T_0}{T_r}$ Cociente entre los dos tiempos de intervención

Dichos tiempos se muestran en la tabla 5.1 y dependen del componente.

Por otro lado el MTBI está dado por la siguiente ecuación:

$$MTBI = \int_0^{T_S} R(t) dt \quad (5.2)$$

Donde:

$R(t)$: Confiabilidad de un componente es el instante "t "

T_S : Intervalo entre Overhauls

Tabla 5.1. Tiempo de Intervenciones²²

Componente	Tiempos		
	Correctivo (hrs)	Preventivo (hrs)	Razón
Motor de combustión interna	160	4	40
Bomba principal de trabajo	200	2.5	80
Caja de engranaje	250	2	125
Bomba de Giro	180	2	90

Luego es posible calcular los intervalos óptimos entre overhauls para los distintos componentes

5.1.1. Motor de Combustión Interna

Al graficar la indisponibilidad en función al tiempo entre intervenciones, se tiene la siguiente curva, de donde se obtiene un TBO mayor a las 11500 hrs, para la cual la disponibilidad es mínima, en la figura 5.1 podremos observar a detalle las características de la indisponibilidad.

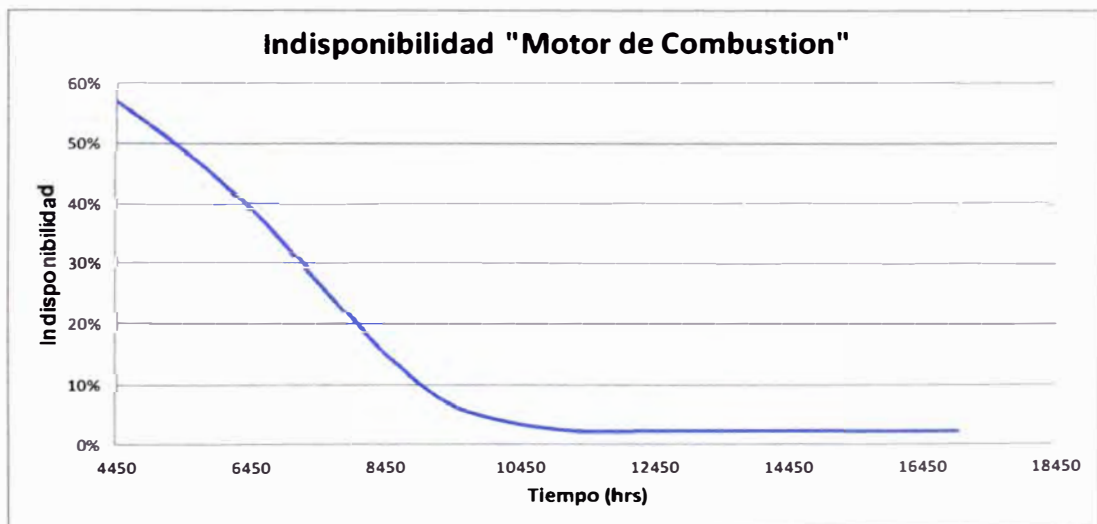


Figura 5.1. Indisponibilidad de Motores de Combustión Interna ²³

²² La base de datos utilizados en este informe se encuentran en los anexos, estos datos fueron extraídos del software de mantenimiento AMT

²³ Utilizando los parámetros de la tabla 5.1 y haciendo uso de la ecuación 5.1, procedemos a trazar la curva de indisponibilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

5.1.2. Bomba principal de Trabajo

Al graficar la indisponibilidad en función al tiempo entre intervenciones, se tiene la siguiente curva, de donde se obtiene un TBO mayor a las 14600 hrs para la cual la disponibilidad es mínima, en la figura 5.2 podremos observar a detalle las características de la indisponibilidad.

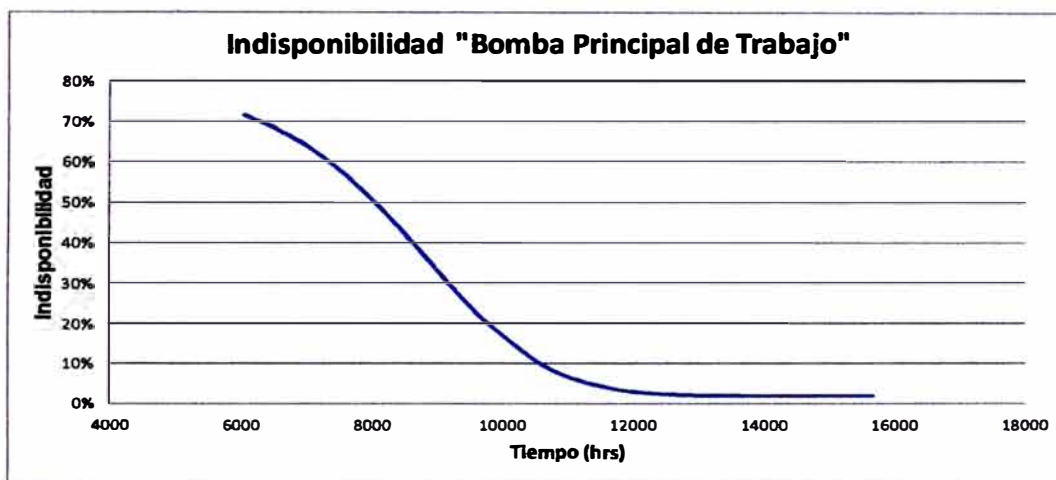


Figura 5.2. Indisponibilidad de Bombas principales de trabajo ²⁴

5.1.3. Caja de Engranajes

Al graficar la indisponibilidad en función al tiempo entre intervenciones, se tiene la siguiente curva, de donde se obtiene un TBO de 24 000 hrs para la cual la disponibilidad es mínima, en la figura 5.3 podremos observar a detalle las características de la indisponibilidad.

²⁴ Utilizando los parámetros de la tabla 5.1 y haciendo uso de la ecuación 5.1, procedemos a trazar la curva de indisponibilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

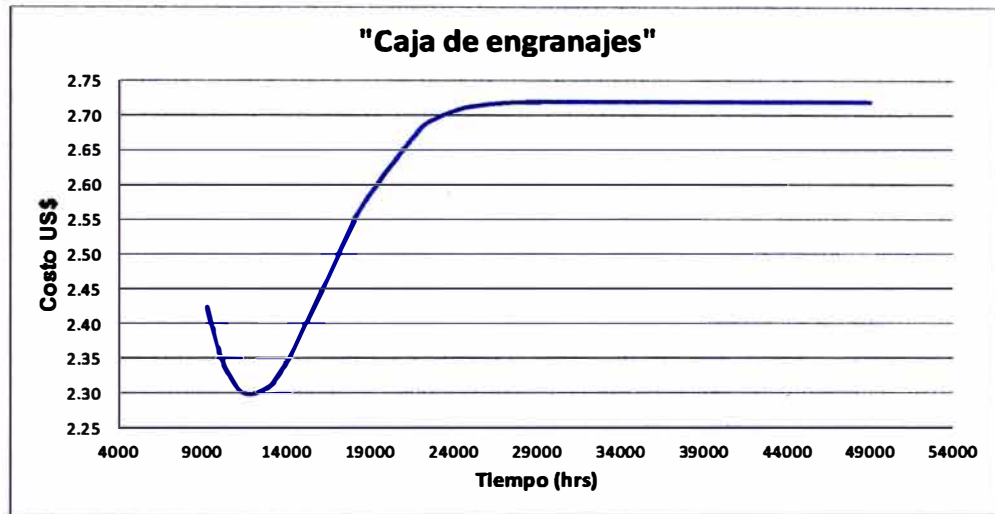


Figura 5.3. Indisponibilidad de caja de Engranajes ²⁵

5.1.4. Bomba de Giro

Al graficar la indisponibilidad en función al tiempo entre intervenciones, se tiene la siguiente curva, de donde se obtiene un TBO mayor a las 20 000 hrs, para la cual la disponibilidad es mínima, en la figura 5.4 podremos observar a detalle las características de la indisponibilidad.

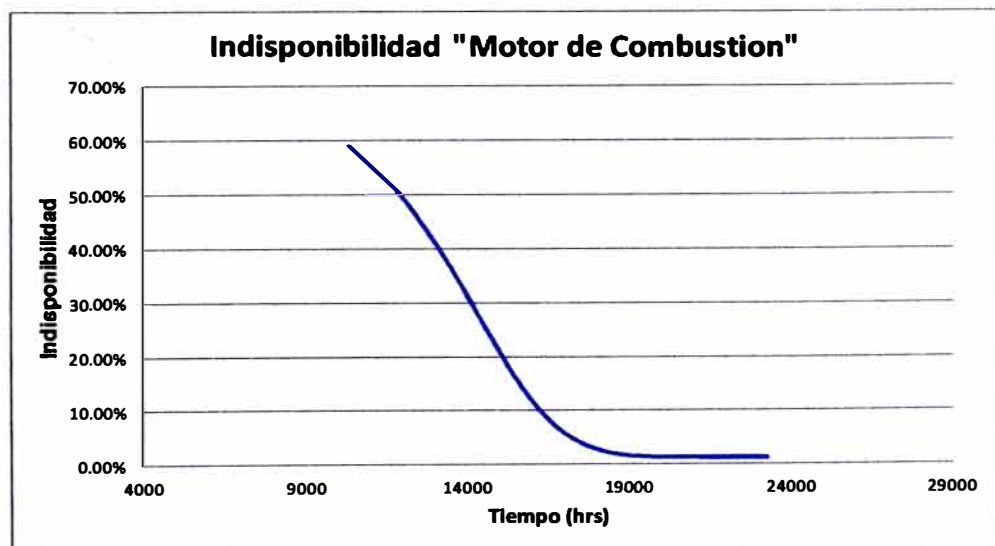


Figura 5.4. Indisponibilidad de Bomba de Giro ²⁶

²⁵⁻²⁶ Utilizando los parámetros de la tabla 5.1 y haciendo uso de la ecuación 5.1, procedemos a trazar la curva de indisponibilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

5.1.5. Resumen TBO según indisponibilidad

En la tabla 5.2 se muestran los TBO obtenido mediante el análisis previamente expuesto, para cada caso.

Tabla 5.2. Resumen del TBO según Indisponibilidad

Componente	TBO según indisponibilidad (Hrs)
Motor de combustión interna	>11 500
Bomba principal de trabajo	>14 600
Caja de engranaje	12 000
Bomba de Giro	>20 000

5.2. Criterio de Costo de Intervención

En esta sección se definirá la estrategia óptima de mantención o el tiempo de intervenciones óptimo (TBO), según el criterio de minimización de los costos de intervención, lo cual queda definido por la siguiente ecuación:

$$C(T_S) = \frac{C_{gp} \cdot R(T_S) + C_{gc} \cdot F(T_S)}{MTBI(T_S)} \quad (5.3)$$

Donde:

C_{gp} : Costo global de una intervención preventiva

C_{gc} : Costo global de una intervención correctiva

T_S : Intervalo entre Overhalls

$R(T_S)$: Confiabilidad de un componente es el instante " T_S "

$F(T_S)$: Probabilidad acumulada de Falla en el instante " T_S "

Dichos costos se muestran en la tabla 5.3 y dependen del componente.

Tabla 5.3. Costos de intervención²⁷

Componente	Costo		
	Cgc (US\$)	Cgp (US\$)	Razón
Motor de combustión interna	78,000.00	40,000.00	1.950
Bomba principal de trabajo	32,172.76	16,000.00	2.011
Caja de engranaje	37,675.94	18,500.00	2.037
Bomba de Giro	19,342.98	11,454.00	1.689

Luego es posible calcular los intervalos óptimos entre overhauls para los distintos componentes.

5.2.1. Motor de Combustión Interna

Al graficar la los costos de intervención, se tiene la siguiente curva, de donde se obtiene un TBO mayor a las 6000 hrs para la cual dicho costo es mínimo, en la figura 5.5 podremos observar a detalle las características de la indisponibilidad

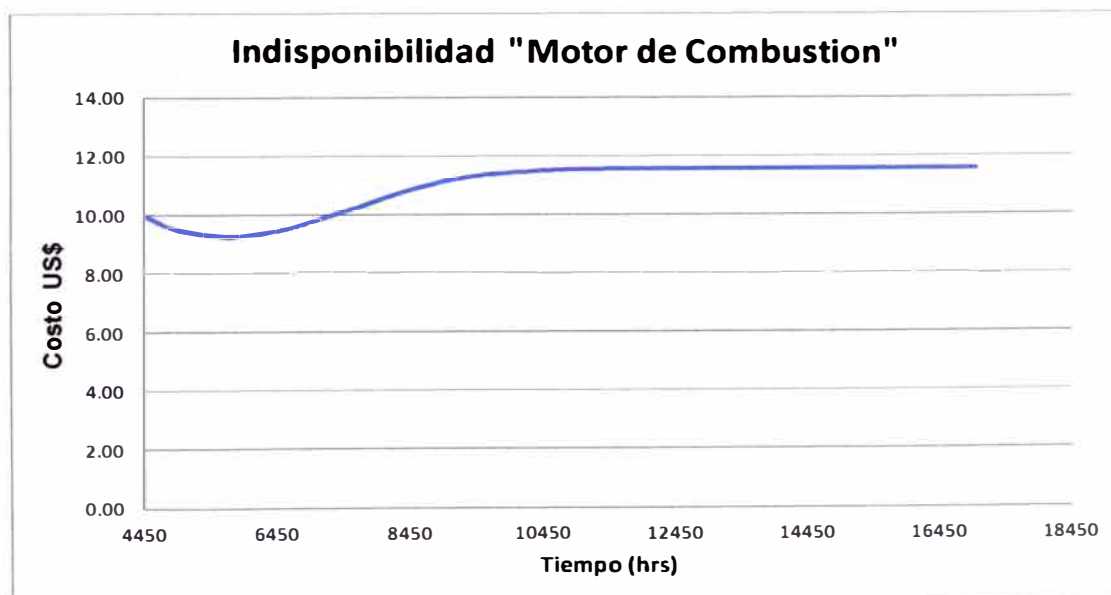


Figura 5.5. Costo de intervención de Motores de Combustión Interna ²⁸

²⁷ La base de datos utilizados en este informe se encuentran en los anexos, estos datos fueron extraídos del software de mantenimiento AMT

²⁸ Utilizando los parámetros de la tabla 5.3 y haciendo uso de la ecuación 5.3, procedemos a trazar la curva de indisponibilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

5.2.2. Bomba principal de Trabajo

Al graficar la indisponibilidad en función al tiempo entre intervenciones, se tiene la siguiente curva, de donde se obtiene un TBO mayor a las 6000 hrs para la cual la disponibilidad es mínima, en la figura 5.6 podremos observar a detalle las características de la indisponibilidad

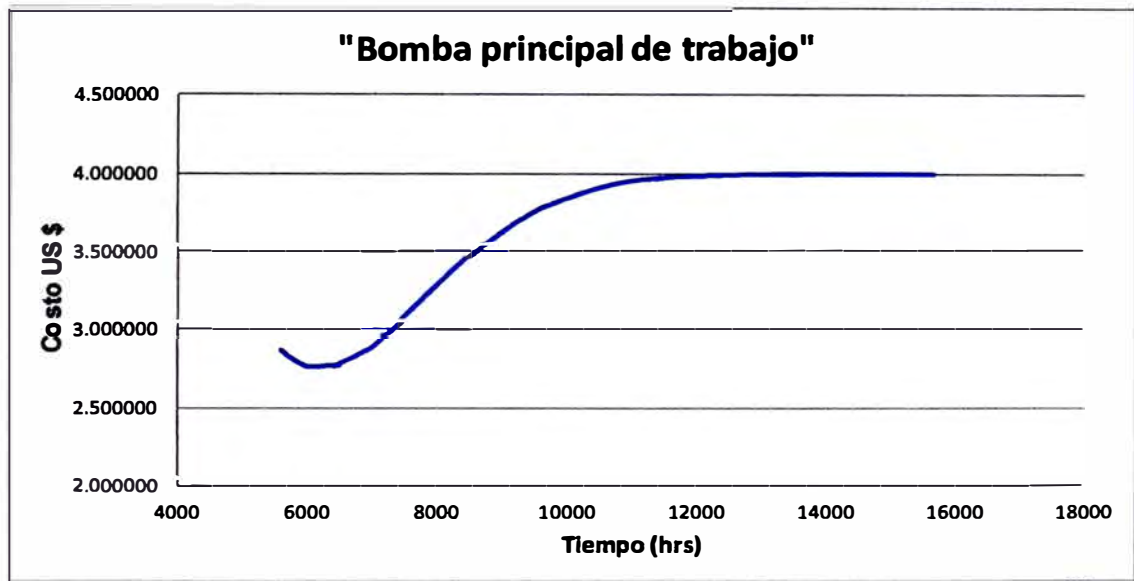


Figura 5.6. Costo de intervención de Bomba principal de trabajo²⁹

5.2.3. Caja de Engranajes

Al graficar la indisponibilidad en función al tiempo entre intervenciones, se tiene la siguiente curva, de donde se obtiene un TBO de 9000 hrs para la cual la disponibilidad es mínima, en la figura 5.7 podremos observar a detalle las características de la indisponibilidad.

²⁹ Utilizando los parámetros de la tabla 5.3 y haciendo uso de la ecuación 5.3, procedemos a trazar la curva de indisponibilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

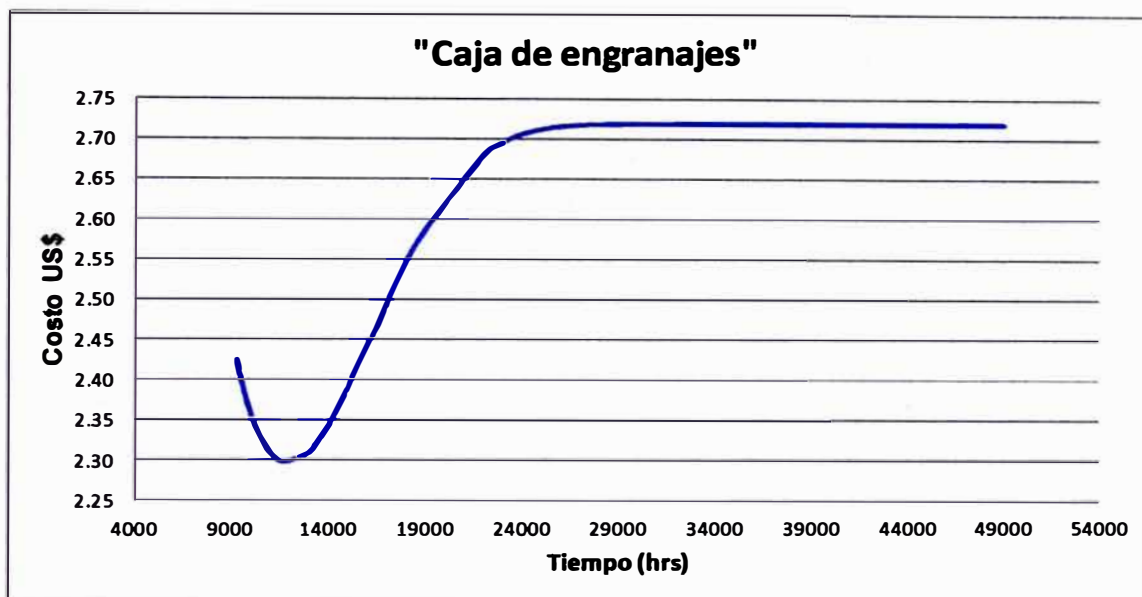


Figura 5.7. Costo de intervención caja de engranajes³⁰

5.2.4. Bomba de Giro

Al graficar la indisponibilidad en función al tiempo entre intervenciones, se tiene la siguiente curva, de donde se obtiene un TBO mayor a las 12000 hrs, para la cual la disponibilidad es mínima, en la figura 5.8 podremos observar a detalle las características de la indisponibilidad.

³⁰ Utilizando los parámetros de la tabla 5.3 y haciendo uso de la ecuación 5.3, procedemos a trazar la curva de indisponibilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

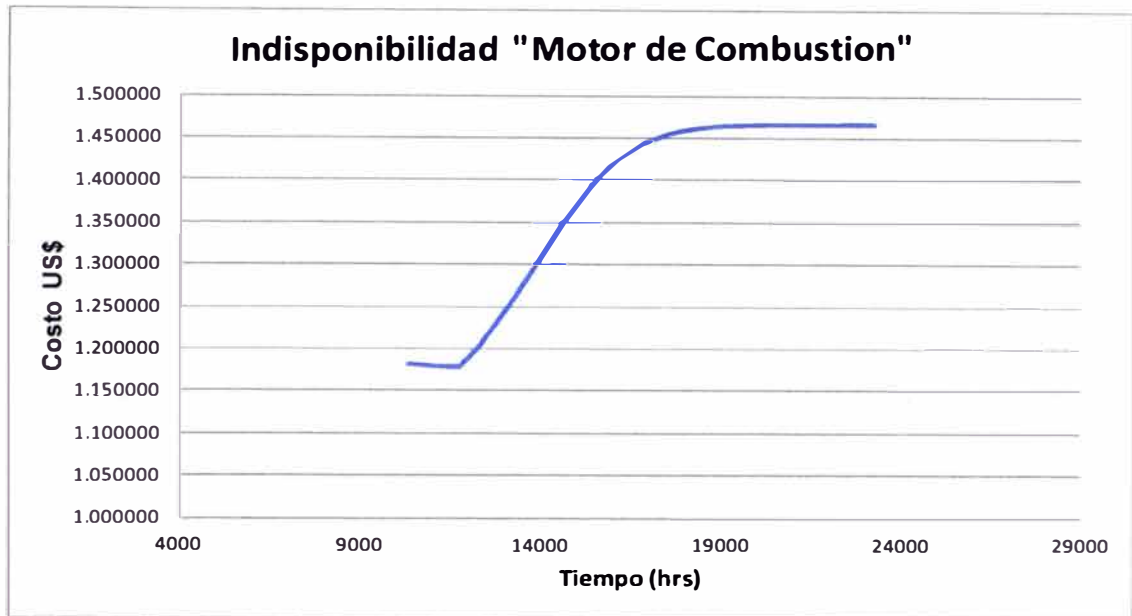


Figura 5.8. Costo de intervención de Bomba de giro ³¹

5.2.5. Resumen TBO según costo de intervenciones

En la tabla 5.4 se muestran los TBO obtenidos mediante el análisis previamente expuesto, para cada caso.

Tabla 5.4. Resumen del TBO según costo de intervenciones

Componente	TBO según Costos (Hrs)
Motor de combustión interna	5 600
Bomba principal de trabajo	6 000
Caja de engranaje	11 000
Bomba de Giro	12 000

³¹ Utilizando los parámetros de la tabla 5.3 y haciendo uso de la ecuación 5.3, procedemos a trazar la curva de indisponibilidad, para mayor referencia el detalle del cálculo se encuentra en los Anexos

CONCLUSIONES

1. Todos los componentes estudiados presentan valores altos en los parámetros de de forma ($\beta > 2$), esta tendencia se acentúa especialmente en el motor de combustión interna ($\beta > 4$); lo cual nos indica que nos encontramos en la última etapa de la curva de la bañera, lugar donde la tasa de falla se incrementa en el tiempo y se debe identificar en qué punto es económicamente conveniente reemplazar o reparar el componente a fin de obtener el intervalo óptimo para su mantenimiento.

	β	η (hrs)	γ (hrs)	MTBF (Hrs)	TBO Actual (Hrs)	TBO indisponibilidad (Hrs)	TBO Costos (Hrs)
<i>Motor de Combustion Interna</i>	4.498	7,402	0	6,754	14,000	11,500	5,600
<i>Bomba Principal de Trabajo</i>	2.085	3,024	5,380	8,059	12,000	14,600	6,000
<i>Caja de Engranaje</i>	3.376	15,428	0	13,856	18,000	24,000	11,000
<i>Bomba de Giro</i>	2.914	6,323	7,555	13,194	16,000	20,000	11,600

2. Solo se puede garantizar una vida asegurada para la Bomba de Giro ($\gamma=5380$ hrs) y la Bomba Principal de Trabajo ($\gamma=7555$ hrs) puesto son las que han tenido una tasa de falla menor en comparación con el resto de componentes.
3. El TBO actual brindado por el fabricante del equipo no es aplicable al tipo de operación en la cual se encuentran la Palas Electrohidráulicas objetos de estudio, puesto que el MTBF en todos los casos presenta valores menores.
4. El Motor de Combustión y la Caja de engranajes presentan valores que muestran un acelerado desgaste, esto se debe que la Pala RH90 ha sido diseñada para trabajar con materiales cuya densidad es 1.8 Tn/m^3 y la densidad a la cual está sometida es de 4 Tn/m^3 así como la altura sobre el nivel del mar donde se encuentra.

5. A veces nos encontramos con fallas de las cuales desconocemos la causa raíz y que están relacionados con los componentes críticos, en este caso tenemos que recurrir al conjunto de observaciones de tiempo de falla que se dispone en los registros históricos y de ahí según la política de empresa se recomienda hacer el reemplazo en bloque en intervalos de tiempo y/o basado en la edad del componente.
6. En el diagrama de Probabilidad de Falla V.S Edad (Diagrama de la bañera) nos hace ver que con el tiempo de uso aumenta la tasa de fallas, esto se materializa en los equipos con el paso del tiempo los equipos sufren degradaciones importante, las inspecciones son más frecuentes y necesarias, mantenimientos sintomáticos y por último reemplazo del componente crítico

RECOMENDACIONES

- 1. La aplicación del análisis de distribución Weibull se basa en la gestión del conocimiento y trabajo en equipo para implementar la confiabilidad operacional proactiva, es por ello que se tiene que buscar y/o preparar un equipo de trabajo sólido y homogéneo para la aplicación de esta metodología.**
- 2. Se recomienda realizar este análisis de Weibull en forma específica , para cada tipo de operación a los que están sometidos los diferentes equipos debido a que muchas veces el TBO del fabricante difiere mucho con nuestras necesidades, realidades y nos lleva a tomar decisiones equivocadas para la definición de la estrategia del mantenimiento.**

ANEXOS

Life - cycle



Hierarchy : [Equipment: (+1/424)]
Date Range : [01-ene-2010-31-marz-2012]
Additional Filters : [Planned:All] [Redo:All] [Breakdown:All]
Analyse By : Component Code

Equipment	Description	N° serie	DTA Hrs	Percentage
PH-002	1110 - Motor Diesel	RH90C-1110-0046	8,500.0	60.7%
PH-002	1110 - Motor Diesel	RH90C-1110-0047	9,500.0	67.9%
PH-003	1110 - Motor Diesel	RH90C-1110-0048	4,450.0	31.8%
PH-003	1110 - Motor Diesel	RH90C-1110-0049	5,650.0	40.4%
PH-004	1110 - Motor Diesel	RH90C-1110-0050	4,890.0	34.9%
PH-004	1110 - Motor Diesel	RH90C-1110-0051	5,850.0	41.8%
PH-005	1110 - Motor Diesel	RH90C-1110-0052	7,650.0	54.6%
PH-005	1110 - Motor Diesel	RH90C-1110-0053	6,450.0	46.1%
PH-006	1110 - Motor Diesel	RH90C-1110-0054	6,750.0	48.2%
PH-006	1110 - Motor Diesel	RH90C-1110-0055	7,650.0	54.6%

Equipment	Description	N° serie	DTA Hrs	Percentage
PH-002	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0001	9,400.0	78.3%
PH-002	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0002	9,286.0	77.4%
PH-002	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0003	9,325.0	77.7%
PH-002	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0004	8,958.0	74.7%
PH-003	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0005	7,560.0	63.0%
PH-003	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0006	8,175.0	68.1%
PH-003	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0007	7,734.0	64.5%
PH-003	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0008	8,235.0	68.6%
PH-004	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0009	7,625.0	63.5%
PH-004	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0010	8,324.0	69.4%
PH-004	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0011	7,935.0	66.1%
PH-004	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0012	8,376.0	69.8%
PH-005	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0013	8,436.0	70.3%
PH-005	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0014	8,827.0	73.6%
PH-005	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0015	8,637.0	72.0%
PH-005	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0016	9,235.0	77.0%
PH-006	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0017	9,334.0	77.8%
PH-006	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0018	9,150.0	76.3%
PH-006	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0019	8,738.0	72.8%
PH-006	4712 - Bomba de Implementos / Trabajo	RH90C-4712-0020	8,540.0	71.2%

Equipment	Description	N° serie	DTA Hrs	Percentage
PH-002	2150 - PTO / Caja de Engranajes	RH90C-2150-0001	15,465.0	85.9%
PH-002	2150 - PTO / Caja de Engranajes	RH90C-2150-0002	22,000.0	122.2%
PH-003	2150 - PTO / Caja de Engranajes	RH90C-2150-0003	450.0	2.5%
PH-003	2150 - PTO / Caja de Engranajes	RH90C-2150-0004	4,369.0	24.3%
PH-004	2150 - PTO / Caja de Engranajes	RH90C-2150-0005	3,575.0	19.9%
PH-004	2150 - PTO / Caja de Engranajes	RH90C-2150-0006	7,457.0	41.4%
PH-005	2150 - PTO / Caja de Engranajes	RH90C-2150-0007	8,357.0	46.4%
PH-005	2150 - PTO / Caja de Engranajes	RH90C-2150-0008	6,548.0	36.4%
PH-006	2150 - PTO / Caja de Engranajes	RH90C-2150-0009	12,345.0	68.6%
PH-006	2150 - PTO / Caja de Engranajes	RH90C-2150-0010	6,956.0	38.6%

Equipment	Description	N° serie	DTA Hrs	Percentage
PH-002	4709 - Bomba de Giro	RH90C-4711-0001	12,344.0	77.2%
PH-002	4710 - Bomba de Giro	RH90C-4711-0002	13,450.0	84.1%
PH-003	4711 - Bomba de Giro	RH90C-4711-0003	12,043.0	75.3%
PH-003	4711 - Bomba de Giro	RH90C-4711-0004	11,546.0	72.2%
PH-004	4711 - Bomba de Giro	RH90C-4711-0005	11,698.0	73.1%
PH-004	4711 - Bomba de Giro	RH90C-4711-0006	12,134.0	75.8%
PH-005	4711 - Bomba de Giro	RH90C-4711-0007	12,745.0	79.7%
PH-005	4711 - Bomba de Giro	RH90C-4711-0008	12,256.0	76.6%
PH-006	4711 - Bomba de Giro	RH90C-4711-0009	14,125.0	88.3%
PH-006	4711 - Bomba de Giro	RH90C-4711-0010	12,568.0	78.6%

Nomenclatura del Rotulado de Componentes

RH90C-1011-0001

Modelo

Código de Componente

Correlativo

Component Description	CC. Component Code
Motor Diesel	1110
Transmision	2110
Convertidor de Torque	2140
PTO / Caja de Engranajes	2150
Reductor de Giro	2440
Diferencial	2510
Mando Final	2520
Cilindro de Direccion	3237
Cilindro de Suspension	3310
Rueda / Cubo	3450
Control de Valvulas Principal /Bloque de Valvulas	4535
Cilindro del Boom/Levante	4614
Cilindro del Bucket / Vuelco	4616
Cilindro del Clam / Chapaleta	4618
Cilindro de Levante	4622
Cilindro de Stick / Ataque	4630
Bomba de Giro	4711
Bomba de Implementos / Trabajo	4712
Motor de Giro	4723
Motor de Traslacion	4724
Boom / Frame	6310
Stick	6329

Target lifetime



Hierarchy : [Equipment: (+1/424)]
Date Range :
Additional Filters : [Planned:All] [Redo:All]
Analyse By : Component Code

RH90

TOTAL LIFE WORK HOURS 50,000

1ST OH FACTOR 0.60

2ND OH FACTOR 0.75

DESCRIPCIÓN	QTY	TARGET LIFETIME
Major Components		1.15
Engranaje de Tornameza	1	30000
Mando Final Der	1	11000
Mando Final Izq	1	11000
Cambiar Boom	1	45000
Reparación Mayor Stick	1	25000
Motor Diesel Derecho	1	14000
Motor Diesel Izquierdo	1	14000
Block de Valvulas Der	1	18000
Block de Valvulas Izq	1	18000
Cambiar Reductor de Giro Der	1	14000
Cambiar Reductor de Giro Izq	1	14000
Cambiar Motor de Traslado Der	1	20000
Cambiar Motor de Traslado Izq	1	20000
Reparacion de Boom soldadura y bocinas	1	20000
Caja de Engranajes Der	1	18000
Caja de Engranajes Izq	1	18000
Bomba de Trabajo P1	1	12000
Bomba de Trabajo P2	1	12000
Bomba de Trabajo P3	1	12000
Bomba de Trabajo P4	1	12000
Bomba de Giro Der	1	16000
Bomba de Giro Izq	1	16000
Motor de Giro Der	1	14000
Motor de Giro Izq	1	14000
Bomba de Refrigeracion Hid Der	1	12000
Bomba de Refrigeracion Hid Izq	1	12000
Motor de Vent Hid Der	1	15000
Motor de Vent Hid Izq	1	15000

Total Cost



Hierarchy : [Equipment: (+1/424)]
 Date Range :
 Additional Filters : [Planned:All] [Radio:All]
 Analyse By : Component Code

RH90

TOTAL LIFE WORK HOURS 50,000
 1ST OH FACTOR 0.60
 2ND OH FACTOR 0.75
 FACTOR 1.30

OVERHAUL

DESCRIPTION	PART NUMBER	QTY	TARGET LIFETIME	UNIT COST (NEW) (*)	TOTAL COST (NEW)	1ST OH COST (1)	2ND OH COST (2)	TOTAL COST US\$/hr	QUANT. CHANGES
MAJOR COMPONENTS			1.15						
Reemplazar engranaje de Tomameza		1	30,000	160,000	160,000	96,000	120,000	3.20	1
Cambiar Mando Final Der		1	11,000	117,821	117,821	70,693	88,366	7.90	4
Cambiar Mando Final Izq		1	11,000	117,821	117,821	70,693	88,366	7.90	4
Cambiar Boom		1	45,000	60,000	60,000	36,000	45,000	0.80	1
Reparación Mayor Stick		1	25,000	55,044	55,044	33,026	41,283	1.49	2
Cambiar Motor Diesel Derecho		1	14,000	130,000	130,000	78,000	97,500	7.27	3
Cambiar Motor Diesel Izquierdo		1	14,000	130,000	130,000	78,000	97,500	7.27	3
Cambiar Blocc de Válvulas Der		1	18,000	40,000	40,000	24,000	30,000	1.50	2
Cambiar Blocc de Válvulas Izq		1	18,000	40,000	40,000	24,000	30,000	1.50	2
Cambiar Reductor de Giro Der		1	14,000	37,297	37,297	22,378	27,973	2.09	3
Cambiar Reductor de Giro Izq		1	14,000	37,297	37,297	22,378	27,973	2.09	3
Cambiar Motor de Traslado Der		1	20,000	30,000	30,000	18,000	22,500	1.01	2
Cambiar Motor de Traslado Izq		1	20,000	30,000	30,000	18,000	22,500	1.01	2
Reparacion de Boom soldadura y bocinas		1	20,000	24,815	24,815	14,889	18,611	0.84	2
Cambiar Caja de Engranajes Der		1	18,000	21,000	21,000	12,600	15,750	0.79	2
Cambiar Caja de Engranajes Izq		1	18,000	21,000	21,000	12,600	15,750	0.79	2
Cambiar Bomba de Trabajo P1		1	12,000	16,377	16,377	9,826	12,283	1.01	4
Cambiar Bomba de Trabajo P2		1	12,000	16,377	16,377	9,826	12,283	1.01	4
Cambiar Bomba de Trabajo P3		1	12,000	16,377	16,377	9,826	12,283	1.01	4
Cambiar Bomba de Trabajo P4		1	12,000	16,377	16,377	9,826	12,283	1.01	4
Cambiar Bomba de Giro Der		1	16,000	14,794	14,794	8,876	11,096	0.72	3
Cambiar Bomba de Giro Izq		1	16,000	14,794	14,794	8,876	11,096	0.72	3
Cambiar Motor de Giro Der		1	14,000	9,800	9,800	5,880	7,350	0.55	3
Cambiar Motor de Giro Izq		1	14,000	9,800	9,800	5,880	7,350	0.55	3
Cambiar Bomba de Refrigeracion Hid Der		1	12,000	5,545	5,545	3,327	4,159	0.34	4
Cambiar Bomba de Refrigeracion Hid Izq		1	12,000	5,545	5,545	3,327	4,159	0.34	4
Cambiar Motor de Vent Hid Der		1	15,000	2,800	2,800	1,680	2,100	0.15	3
Cambiar Motor de Vent Hid Izq		1	15,000	2,800	2,800	1,680	2,100	0.15	3
TOTAL					1,183,481.00	710,088.60	887,610.75	54.99	
					% vs NEW	60%	75%		

Downtime Analysis



Hierarchy : [Equipment: (+1/424)]
Date Range :
Additional Filters : [Planned:All] [Redo:All]
Analyse By : Component Code

DESCRIPCIÓN	QTY	PREVENTIVE (HRS)	CORRECTIVE (HRS)
Major Components			
Engranaje de Tomameza	1	-	-
Mando Final	2	3	280
Boom	1	-	-
Stick	1	-	-
Motor Diesel	2	4	160
Block de Valvulas	2	-	-
Reductor de Giro	2	3.5	350
Motor de Traslado	2	4	220
Reparacion de Boom soldadura y bocinas	1	-	-
Caja de Engranajes	2	2	250
Bomba de Trabajo	4	2.5	200
Bomba de Giro	2	2	180
Motor de Giro	2	3	320
Bomba de Refrigeracion Hid	2	5	230
Motor de Vent Hid	2	3	150

DESCRIPCIÓN	QTY	PREVENTIVE (US\$)	CORRECTIVE (US\$)
Major Components			
Engranaje de Tomameza	1	-	-
Mando Final	2	75,000.00	54,500.00
Boom	1	-	-
Stick	1	-	-
Motor Diesel	2	78,000.00	40,000.00
Block de Valvulas	2	-	-
Reductor de Giro	2	25,600.00	22,346.00
Motor de Traslado	2	20,450.00	16,745.00
Reparacion de Boom soldadura y bocinas	1	-	-
Caja de Engranajes	2	37,675.94	18,500.00
Bomba de Trabajo	4	32,172.76	16,000.00
Bomba de Giro	2	19,342.98	11,454.00
Motor de Giro	2	7,450.00	5,678.00
Bomba de Refrigeracion Hid	2	7,200.00	5,460.00
Motor de Vent Hid	2	10,230.00	7,500.00

Motores de Combustion Interna

Tabla 7.2. Detalle del cálculo para obtención de los parámetros Weibull

Código del Equipo	Numero de Serie del Componente	Tiempo entre fallas (hrs)	$r = (i-0.5) / (n-0.5)$	t_i	$\ln(t_i)$	$\ln(-\ln(1-F(r)))$	$R(r)$
1	PH-003	RH90C-1110-0048	4450	6.73%	8.40066	-2.66384	90.4%
2	PH-004	RH90C-1110-0050	4890	16.35%	8.49495	-1.72126	85.6%
3	PH-003	RH90C-1110-0049	5650	25.96%	8.63941	-1.20202	74.3%
4	PH-004	RH90C-1110-0051	5850	35.58%	8.67420	-0.82167	70.7%
5	PH-005	RH90C-1110-0053	6450	45.19%	8.77184	-0.50860	58.6%
6	PH-006	RH90C-1110-0054	6750	54.81%	8.81730	-0.23037	50.6%
7	PH-006	RH90C-1110-0055	7650	64.42%	8.94246	0.03292	31.3%
8	PH-005	RH90C-1110-0052	7950	74.04%	8.98218	0.29903	25.0%
9	PH-002	RH90C-1110-0046	8500	83.65%	9.04782	0.59398	15.5%
10	PH-002	RH90C-1110-0047	9500	93.27%	9.15905	0.99269	4.6%

Tabla 7.3. Base de datos de la Distribución de Probabilidad

Y1	X	Tasa de Fallo	Distribución de Probabilidad
-2.388	0.341	0.000103	9.26315E-03
-1.864	0.020	0.000143	1.22101E-02
-1.215	0.000	0.000236	1.75615E-02
-1.058	0.056	0.000267	1.88811E-02
-0.619	0.012	0.000376	2.19198E-02
-0.414	0.034	0.000440	2.27381E-02
0.149	0.013	0.000682	2.13786E-02
0.327	0.001	0.000784	1.95787E-02
0.622	0.001	0.000986	1.52975E-02
1.123	0.017	0.001455	6.73364E-03

Tabla 7.1. Base de datos utilizado en los cálculos del análisis Weibull

Componente	β	n (hrs)	γ (hrs)	MTBF (hrs)	Correctivo (hrs)	Preventivo (hrs)	Razón	T_0	C _p (US\$)	C _r (US\$)	Razón
Motor de combustión interna	4.4977	7402	0	6754	160	4	40	14000	78.000.00	40.000.00	1.950
Bomba principal de trabajo	2.08596	3024	5380.91522	8059	200	2.5	80	12000	32.172.76	16.000.00	2.011

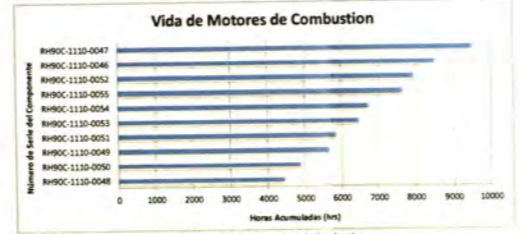


Figura 7.1. Vida de los motores de Combustion

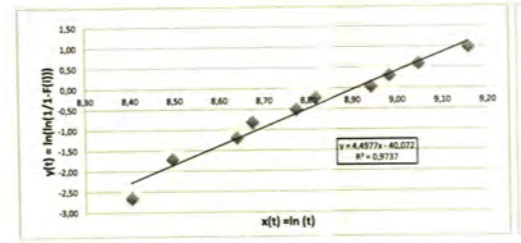


Figura 7.2. Weibull del Motor de Combustion



Figura 7.3. Tasa de Fallo del Motor de Combustion

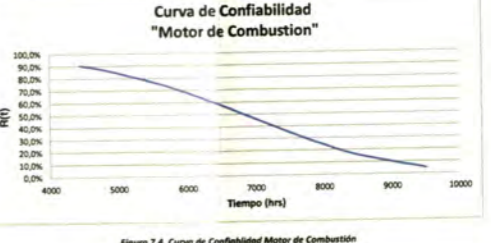


Figura 7.4. Curva de Confiabilidad Motor de Combustion

Tabla 7.4. Ecuacion de la recta en la distribución Weibull

Ecuacion de la Recta:	$y = \beta \ln(t) - \ln(-\ln(r))$	$y =$	4.4977	$x =$	40.072
Parametro Forma	$\beta =$	4.4977			
Parametro Escala	$\ln(-\ln(r)) =$	40.072			
Parametro Localización	$\ln(t) =$	40.072			

Tabla 7.5. Detalle del cálculo de la Estrategia Optima de Mantenimiento

Tiempo entre fallas (hrs) t_i	MTBI	R(t_i)	Tiempo			D(t_i)	C_i
			Correctivo (hrs)	Preventivo (hrs)	Razón		
1	4450	0.90354488	160	4	40	57.02%	9.59
2	4950	0.84895509	160	4	40	53.16%	9.51
3	5388.22	0.743154069	160	4	40	47.19%	9.27
4	5850	0.706715533	160	4	40	45.32%	9.28
5	6450	0.583069719	160	4	40	39.18%	9.46
6	6750	0.516484327	160	4	40	35.80%	9.62
7	7650	0.313454724	160	4	40	24.73%	10.26
8	7950	0.249814266	160	4	40	20.85%	10.50
9	8500	0.155148947	160	4	40	14.53%	10.87
10	10000	0.020508312	160	4	40	4.12%	11.45
11	11500	0.000705279	160	4	40	2.38%	11.54
12	13000	3.38535E-06	160	4	40	2.31%	11.55
13	14500	1.14907E-09	160	4	40	2.31%	11.55
14	16000	6.754E-14	160	4	40	2.31%	11.55
15	17500	1.48548E-21	160	4	40	2.31%	11.55



Figura 7.5. Indisponibilidad del Motor de Combustion

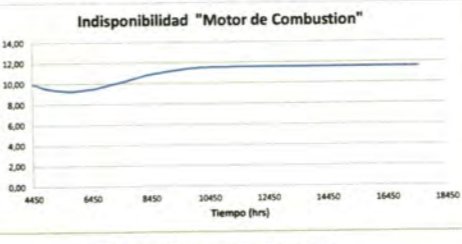


Figura 7.6. Costo de Intervencion del Motor de Combustion

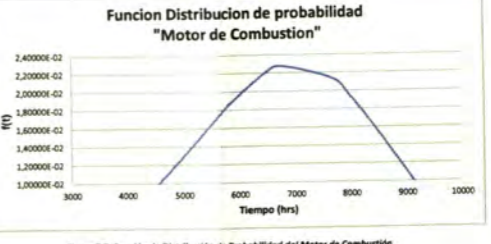


Figura 7.7. Función de Distribución de Probabilidad del Motor de Combustion

Bombas Principales de Trabajo

Tabla 7.6. Detalle del cálculo para obtención de los parámetros Weibull

Código del Equipo	Numero de Serie del Componente	Tiempo entre fallas (hrs)	$r = (i-0.5) / (n-0.5)$	t_i	$\ln(t_i)$	$\ln(-\ln(1-F(r)))$	$R(r)$
1	PH-003	RH90C-4712-0005	6054	3.43%	8.51187	-3.95480	95.7%
2	PH-004	RH90C-4712-0009	6230	8.33%	8.74416	-2.44172	93.2%
3	PH-003	RH90C-4712-0007	6425	13.24%	8.76500	-1.95214	89.7%
4	PH-004	RH90C-4712-0011	6935	18.14%	8.84864	-1.60881	77.9%
5	PH-003	RH90C-4712-0008	7175	23.04%	8.97225	-1.33989	71.4%
6	PH-003	RH90C-4712-0008	7235	27.94%	9.07915	-1.11570	69.7%
7	PH-004	RH90C-4712-0010	7324	32.84%	9.17203	-0.92095	67.2%
8	PH-004	RH90C-4712-0012	7376	37.75%	9.19844	-0.74669	65.7%
9	PH-005	RH90C-4712-0013	7436	42.65%	9.22807	-0.58708	64.0%
10	PH-006	RH90C-4712-0020	7640	47.55%	9.27272	-0.43805	58.0%
11	PH-005	RH90C-4712-0015	7937	52.45%	9.34623	-0.29651	49.5%
12	PH-006	RH90C-4712-0019	8238	57.35%	9.39756	-0.15992	41.1%
13	PH-005	RH90C-4712-0014	8627	62.25%	9.46520	-0.02602	31.4%
14	PH-002	RH90C-4712-0004	8958	67.16%	9.51820	0.10744	24.2%
15	PH-006	RH90C-4712-0018	9150	72.06%	9.54659	0.24300	20.5%
16	PH-005	RH90C-4712-0016	9235	76.96%	9.57497	0.38388	19.0%
17	PH-002	RH90C-4712-0002	9386	81.86%	9.60335	0.52486	18.2%
18	PH-002	RH90C-4712-0003	9545	86.76%	9.63172	0.66584	14.2%
19	PH-006	RH90C-4712-0017	9645	91.67%	9.66010	0.80682	12.9%
20	PH-002	RH90C-4712-0001	10045	96.57%	9.68847	1.11557	8.5%

Tabla 7.7. Base de datos de la Distribución de Probabilidad

Y1	X	Tasa de Fallo	Distribución de Probabilidad
-3.134	0.049	0.000135	1.29180E-02
-2.650	0.043	0.000174	1.61794E-02
-2.218	0.071	0.000217	1.94848E-02
-1.889	0.048	0.000335	2.60874E-02
-1.089	0.063	0.000391	2.79465E-02
-1.020	0.009	0.000406	2.82788E-02
-0.923	0.000	0.000427	2.86742E-02
-0.868	0.015	0.000439	2.88517E-02
-0.806	0.048	0.000453	2.90079E-02
-0.608	0.029	0.000501	2.91618E-02
-0.351	0.003	0.000575	2.94182E-02
-0.118	0.002	0.000649	2.96782E-02
0.148	0.030	0.000745	2.99304E-02
0.350	0.059	0.000828	3.00826E-02
0.459	0.047	0.000976	3.02095E-02
0.506	0.015	0.000998	3.03321E-02
0.533	0.000	0.000911	3.04557E-02
0.667	0.001	0.000976	3.06099E-02
0.717	0.037	0.001002	3.07641E-02
0.904	0.097	0.001104	3.09183E-02



Figura 7.8. Vida de Bombas Principales de Trabajo

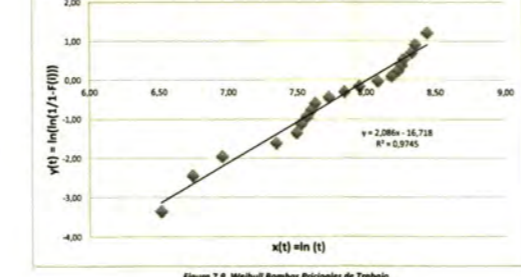


Figura 7.9. Weibull Bombas Principales de Trabajo



Figura 7.10. Tasa de Fallo de Bombas Principales de Trabajo

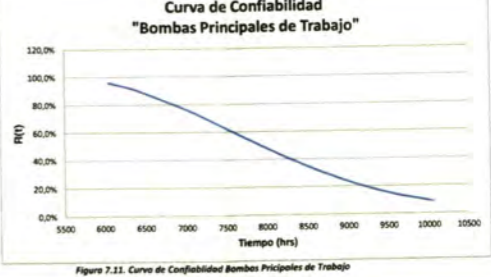


Figura 7.11. Curva de Confiabilidad Bombas Principales de Trabajo

Tabla 7.8. Ecuacion de la recta en la distribución Weibull

Ecuacion de la Recta:	$y = \beta \ln(t) - \ln(-\ln(r))$	$y =$	7.3991	$x =$	66.983
Parametro Forma	$\beta =$	7.3991			
Parametro Escala	$\ln(-\ln(r)) =$	66.983			
Parametro Localización	$\ln(t) =$	66.983			

Tabla 7.9. Detalle del cálculo de la Estrategia Optima de Mantenimiento

Tiempo entre fallas (hrs) t_i	MTBI	R(t_i)	Tiempo			D(t_i)	C_i
			Correctivo (hrs)	Preventivo (hrs)	Razón		
1	5603.685979	9.9566E-01	200	2.5	80	73.98%	2.8678
2	5754.468606	9.8737E-01	200	2.5	80	73.31%	2.8169
3	5904.871714	9.7460E-01	200	2.5	80	72.56%	2.7817
4	6054.425926	9.5740E-01	200	2.5	80	71.71%	2.7620
5	6203.977639	9.3618E-01	200	2.5	80	68.64%	2.7443
6	6425.166771	8.9662E-01	200	2.5	80	69.22%	2.7651
7	6935.68124784	7.7926E-01	200	2.5	80	64.71%	2.8703
8	7175.525095	7.1425E-01	200	2.5	80	62.12%	2.9470
9	7235.70974963	6.9738E-01	200	2.5	80	61.42%	2.9680
10	7324.710016142	6.7209E-01	200	2.5	80	60.34%	3.0003
11	7376.373761	6.5707E-01	200	2.5	80	58.69%	3.0196
12	7436.71727651	6.3971E-01	200	2.5	80	58.93%	3.0424
13	7640.7298720572	5.8029E-01	200	2.5	80	56.16%	3.1222
14	7937.7458271038	4.9451E-01	200	2.5	80	51.73%	3.2414
15	8238.7594473082	4.1137E-01	200	2.5	80	46.78%	3.3603
16	8627.7735083056	3.1372E-01	200	2.5	80	39.87%	3.5034
17	8958.7826718366	2.4182E-01	200	2.5	80	33.77%	3.6109
18	9150.7869383277	2.0533E-01	200	2.5	80	30.25%	3.6663
19	9235.7886397563	1.9042E-01	200	2.5	80	28.71%	3.6890
20	9286.7895889193</						

Caja de Engranajes (PTO)

Tabla 7.11. Detalle del cálculo para obtención de los parámetros Weibull

Código del Equipo	Número de Serie del Componente	Tiempo entre fallas (hrs) t_i	F _i (%)	r _i (Fr)	y _i = ln(-ln(1-F _i))	x _i = ln(t _i)
1	PH-001	9304	18%	0,1667	-2,3702	9,375
2	PH-004	9375	36%	0,3333	-1,6094	9,452
3	PH-003	9398	54%	0,5000	-0,8536	9,487
4	PH-005	11548	72%	0,6667	-0,4011	9,596
5	PH-006	12263	90%	0,8333	0,2514	9,620
6	PH-004	13457	90%	0,8333	0,2514	9,728
7	PH-005	14337	64%	0,5714	-0,1313	9,800
8	PH-006	16345	72%	0,6667	-0,4011	9,826
9	PH-002	18465	81%	0,7273	-0,2334	9,903
10	PH-002	22000	91%	0,8261	0,1751	9,998
		25000				
		28000				
		30000				
		34000				
		37000				
		40000				
		43000				
		46000				

Tabla 7.12. Base de datos de la Distribución de Probabilidad

Y1	X	Tasa de Falla	Distribución de Probabilidad
-2,3702	9,375	0,000084	0,000084
-1,6094	9,452	0,000205	0,000205
-0,8536	9,487	0,000516	0,000516
-0,4011	9,596	0,001290	0,001290
0,2514	9,620	0,003175	0,003175
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949

Tabla 7.13. Ecuación de la recta en la distribución Weibull

Ecuación de la Recta	y = a + b ln(x)	Y	X
Parámetro Forma	6,5685	3,3762	32,56
Parámetro Escala	11,4677	15,429	
Parámetro Localización	0	0	

Tabla 7.14. Detalle del cálculo de la Estrategia Óptima de Mantenimiento

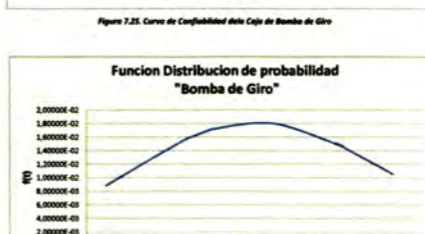
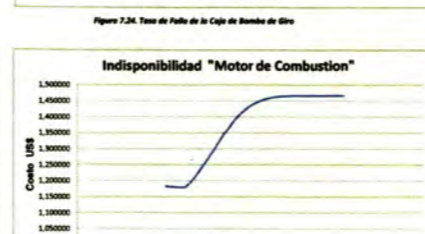
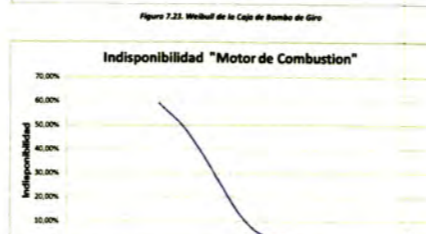
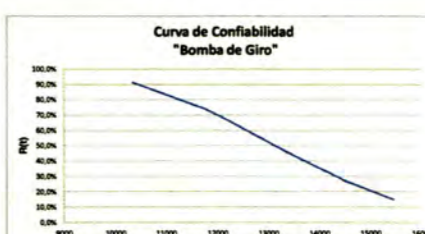
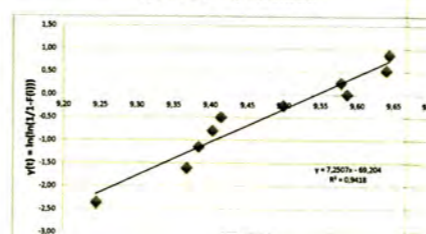
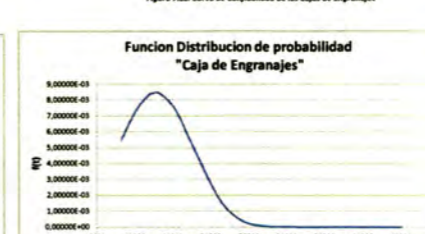
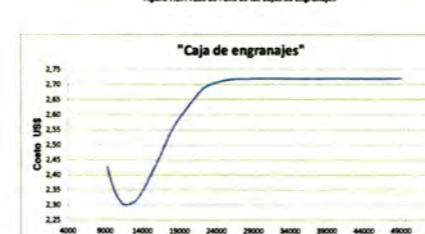
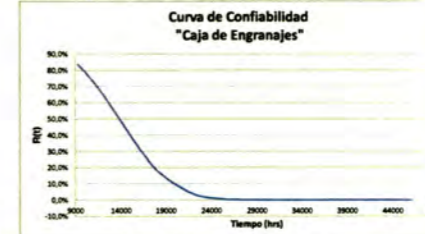
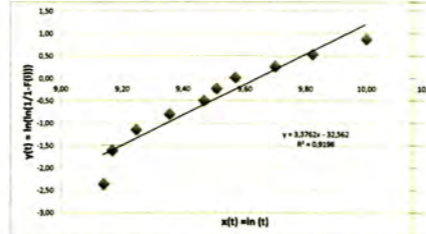
Tiempo entre fallas (hrs) t_i	MTBF	R _f (t)	Correctiva (hrs) T_r	Preventiva (hrs) T_p	Razón	D _f (t)	C _e
1	9304	0,8318628	250	2	125	74,50%	2,43
2	9375	0,81993337	250	2	125	73,67%	2,40
3	9398	0,78674798	250	2	125	71,21%	2,34
4	11548	0,6859292	250	2	125	66,90%	2,30
5	12263	0,574363999	250	2	125	61,00%	2,31
6	13457	0,531447825	250	2	125	58,68%	2,32
7	14337	0,456460341	250	2	125	54,61%	2,34
8	16345	0,39668785	250	2	125	47,07%	2,46
9	18465	0,33979304	250	2	125	37,84%	2,57
10	22000	0,208396323	250	2	125	2,08%	2,68
11	22900	0,022155055	250	2	125	0,42%	2,69
12	23800	0,013288372	250	2	125	0,57%	2,70
13	24700	0,007461482	250	2	125	0,36%	2,71
14	25600	0,004519817	250	2	125	0,23%	2,72
15	26500	0,002680008	250	2	125	0,20%	2,72
16	27400	0,001594793	250	2	125	0,18%	2,72
17	28300	0,000942774	250	2	125	0,16%	2,72
18	29200	0,000519805	250	2	125	0,16%	2,72
19	30100	0,00029095	250	2	125	0,16%	2,72
20	31000	0,00014672	250	2	125	0,16%	2,72
21	32000	0,000074406	250	2	125	0,16%	2,72
22	33000	0,000037203	250	2	125	0,16%	2,72
23	34000	0,000018602	250	2	125	0,16%	2,72
24	35000	9,3511E-05	250	2	125	0,16%	2,72
25	36000	4,6755E-05	250	2	125	0,16%	2,72
26	37000	2,3377E-05	250	2	125	0,16%	2,72
27	38000	1,1688E-05	250	2	125	0,16%	2,72
28	39000	5,844E-06	250	2	125	0,16%	2,72
29	40000	2,922E-06	250	2	125	0,16%	2,72
30	41000	1,461E-06	250	2	125	0,16%	2,72
31	42000	7,305E-07	250	2	125	0,16%	2,72
32	43000	3,652E-07	250	2	125	0,16%	2,72
33	44000	1,826E-07	250	2	125	0,16%	2,72
34	45000	9,13E-08	250	2	125	0,16%	2,72
35	46000	4,565E-08	250	2	125	0,16%	2,72
36	47000	2,282E-08	250	2	125	0,16%	2,72
37	48000	1,141E-08	250	2	125	0,16%	2,72
38	49000	5,705E-09	250	2	125	0,16%	2,72
39	49000	5,705E-09	250	2	125	0,16%	2,72
40	49000	5,705E-09	250	2	125	0,16%	2,72

Tabla 7.15. Base de datos de la Distribución de Probabilidad

Y1	X	Tasa de Falla	Distribución de Probabilidad
-2,383	9,375	0,000084	0,000084
-1,6094	9,452	0,000205	0,000205
-0,8536	9,487	0,000516	0,000516
-0,4011	9,596	0,001290	0,001290
0,2514	9,620	0,003175	0,003175
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949
0,1751	9,998	0,007949	0,007949

Tabla 7.16. Detalle del cálculo de la Estrategia Óptima de Mantenimiento

Tiempo entre fallas (hrs) t_i	MTBF	R _f (t)	Correctiva (hrs) T_r	Preventiva (hrs) T_p	Razón	D _f (t)	C _e
1	10245	0,91897963	180	2	90	88,99%	1,181704
2	11698	0,796901751	180	2	90	81,51%	1,178127
3	13904	0,71452348	180	2	90	70,14%	1,183242
4	12134	0,678637905	180	2	90	68,45%	1,194666
5	1225	0,655180884	180	2	90	47,23%	1,200185
6	13344	0,461439993	180	2	90	17,80%	1,246421
7	14568	0,358624337	180	2	90	25,17%	1,346503
8	14452	0,275737966	180	2	90	26,40%	1,339214
9	15359	0,23280598	180	2	90	17,23%	1,396779
10	15445	0,148629671	180	2	90	14,41%	1,394930
11	15745	0,119403534	180	2	90	13,81%	1,408295
12	16045	0,09411453	180	2	90	13,44%	1,419931
13	16345	0,07344024	180	2	90	9,57%	1,429808
14	16645	0,05615162	180	2	90	7,90%	1,438773
15	16945	0,04220622	180	2	90	6,11%	1,444373
16	17245	0,03148538	180	2	90	4,90%	1,450262
17	17545	0,02284758	180	2	90	3,95%	1,456117
18	17845	0,01640278	180	2	90	3,21%	1,461788
19	18145	0,01180696	180	2	90	2,65%	1,467249
20	18445	0,0079211	180	2	90	2,24%	1,462058
21	18745	0,00511678	180	2	90	1,90%	1,461360
22	19045	0,00349268	180	2	90	1,60%	1,464903
23	19345	0,00247484	180	2	90	1,35%	1,469303
24	19645	0,001746725	180	2	90	1,10%	1,465325
25	19945	0,00124057	180	2	90	0,90%	1,465903
26	20245	0,00084527	180	2	90	0,75%	1,465177
27	20545	0,00059272	180	2	90	0,60%	1,465887
28	20845	0,00041939	180	2	90	0,45%	1,465954
29	21145	0,00029184	180	2	90	0,35%	1,465993
30	21445	0,00019604	180	2	90	0,25%	1,466014
31	21745	0,000135	180	2	90	0,18%	1,466029
32	22045	8,943E-05	180	2	90	0,13%	1,466036
33	22345	6,843E-05	180	2	90	0,09%	1,466042
34	22645	5,147E-05	180	2	90	0,07%	1,466042
35	22945	3,881E-05	180	2	90	0,05%	1,466043
36	23245	2,919E-05	180	2	90	0,03%	1,466043



BIBLIOGRAFIA

- Jardine, A.K.S. and Tsang, A.H.C. (2006) Maintenance, Reliability and Replacement : Theory and Applications, Taylos & Francis : CRC Press
- Glasser, Planned Replacement: Some Theory and its Aplication, Journal of Quality Technology Vol.1 No 2 April 1969
- O Connor, P.D.T. (2002) Practical reliability engineering. 4th edition, chapter 3, Wiley.
- C.R. Sundararajan. Guide to Realibility Engineering. Van Nostrand Reinhold, 1991
- Amendola, L “Retorno de la inversion sobre mantenimiento de activos” (RIMA) Ingenieria y Gestión de Mantenimiento, No 41 ISS 1695-3754 España, , May/Jun, 2005