

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTIMACIÓN DE LA CONFIABILIDAD EN EQUIPOS MEDIANTE EL  
ANÁLISIS DE WEIBULL**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO**

**PRESENTADO POR:  
MIGUEL ANGEL APOLINARIO GABRIEL**

**PROMOCIÓN 2006-II  
LIMA - PERU  
2008**

*Agradecimientos  
A Dios y a mis padres  
Carmen y Néstor por darme  
la oportunidad de crecer  
profesional y personalmente.*

## CONTENIDO

PROLOGO	1
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Objetivo	3
1.2 Alcance	4
CAPITULO II. INGENIERIA DE CONFIABILIDAD	5
2.1 Definición	5
2.2 Importancia de la Confiabilidad	6
CAPITULO III. CONCEPTOS ESTADISTICOS APLICADOS	10
3.1 Variable Aleatoria	10
3.2 Histograma de Frecuencias	11
3.3 Función Densidad de Probabilidad	13
3.3.1 Distribución Normal	15
3.3.2 Distribución Exponencial	15
3.4 Función Distribución Acumulada	16
3.5 Función de Confiabilidad	17
3.6 Tasa de Riesgo	19
3.7 Diagrama de Weibull	22

CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS A ESTUDIAR	25
4.1 Descripción de las Instalaciones	25
4.1.1 Capacidad Total Instalada	29
4.1.2 Condiciones Ambientales	31
4.1.3 Cromatografía del Gas Natural	31
4.2 Estado Situacional de los Compresores	33
4.3 Estándares Referenciales de Confiabilidad	35
4.3.1 Manual OREDA	35
4.3.2 Norma ISO 14224	40
CAPÍTULO V. DESARROLLO DE AL METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE WEIBULL	44
5.1 Generalidades	44
5.2 Distribución de Weibull	45
5.3 Estimación de Parámetros de la Distribución de Weibull	48
5.3.1 Paso 1	48
5.3.2 Paso 2	49
5.3.3 Paso 3	51
5.3.4 Paso 4	52
5.3.5 Paso 5	54
5.4 Análisis de Fallas con Suspensiones	56
5.5 Análisis de Grupo de Fallas con Múltiples Suspensiones	59
5.6 Indicadores de Mantenimiento	61

CAPÍTULO VI. APLICACIÓN A EQUIPOS MOTOCOMPRESORES DE GAS NATURAL	64
6.1 Consideraciones	64
6.2 Compresor C2-ETA29	67
6.2.1 Estimación de la Confiabilidad	67
6.2.2 Cuantificación de Pérdidas en la Venta de Gas	73
6.2.3 Mejora de la Tasa de Fallas	73
6.2.4 Cuantificación de Pérdidas en la Venta de Gas	79
6.3 Compresor C1-ETA27	81
6.3.1 Estado Situacional del Equipo	81
6.3.2 Estimación de la Confiabilidad	82
6.3.3 Cuantificación de Pérdidas en la Venta de Gas	88
6.3.4 Comparación con los Estándares Referenciales	90
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	96
GLOSARIO	99
ANEXO	101

## INDICE DE GRAFICOS

Grafico 3.1 Histograma de Frecuencia	12
Grafico 3.2 Función Densidad de Probabilidad	13
Grafico 3.3 Función Distribución Acumulada	18
Grafico 3.4 Función de Confiabilidad	19
Grafico 3.5 Curva de la Bañera	21
Grafico 4.1 Ubicación del Lote X	25
Grafico 4.2 Vista de Motocompresor	28
Grafico 4.3 Vista de Separador de Gas de Entrada	28
Grafico 4.4 Distribución de Utilización del Gas	35
Grafico 5.1 Distribución de Weibull	45
Grafico 5.2 Trazado de Línea Recta – Weibull Paper	52
Grafico 5.3 Trazado de Línea perpendicular – Weibull Paper	53
Grafico 5.4 Estimación de parámetro $\eta$	55
Grafico 5.5 Registro de Tiempo de Funcionamiento de un Equipo	61
Grafico 6.1 Diagrama de Pareto de Fallas	66
Grafico 6.2 Diagrama de Weibull – Registro de Fallas 2006	70
Grafico 6.3 Diagrama de Pareto mejoras en la Tasa de Fallas	74
Grafico 6.4 Diagrama de Weibull – Registro de Fallas 2007	76
Grafico 6.5 Comparación Evolutiva de la Confiabilidad	80
Grafico 6.6 Diagrama de Weibull – Registro de Fallas 2007	86
Grafico 6.7 Confiabilidad Compresor C1-ETA27	88

## INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Distribución de Motocompresores – Lote X	30
Tabla 4.2 Cromatografía del Gas Natural – Lote X	32
Tabla 4.3 Capacidad Instalada de Motocompresores – Lote X	34
Tabla 4.4 Valores Estadísticos de Falla	37
Tabla 5.1 Tendencia de $h(t)$ respecto a $\beta$	47
Tabla 5.2 Registro de Fallas – Bomba Bingham	60
Tabla 6.1 Registro de Fallas de Motocompresores (Julio – Diciembre 2006)	65
Tabla 6.2 Registro de Modo de Fallas C2-ETA29 (Julio – Diciembre 2006)	73

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Papel de Weibull	102
Anexo 2. Modo de Falla - Norma ISO 14224	103
Anexo 3. Valores de Rango Medio	104
Anexo 4. Modos de Falla "C2-ETA29" (2006)	105
Anexo 5. Número de Orden de Falla "C2-ETA29"	106
Anexo 6. Valores de Función de Distribución Acumulada "C2-ETA29"	107
Anexo 7. Cuantificación de Perdidas por Paro "C2-ETA29"	108
Anexo 8. Modo de Falla "C2-ETA29" (2007)	109
Anexo 9. Número de Orden de Falla "C2-ETA29"	109
Anexo 10. Valores de Función de Distribución Acumulada "C2-ETA29"	110
Anexo 11. Cuantificación de Perdidas por Paro "C2-ETA29"	110
Anexo 12. Modo de Falla "C1-ETA27" (2006)	111
Anexo 13. Cuantificación de Perdidas por Paro "C1-ETA27"	113
Anexo 14. Modo de Falla "C1-ETA27" (2007)	115
Anexo 15. Número de Orden de Falla "C1-ETA27"	117
Anexo 16. Valores de Función de Distribución Acumulada "C1-ETA27"	119
Anexo 17. Cuantificación de Perdidas por Paro "C1-ETA27" (2007)	121
Anexo 18. Mantenimiento Típico de Motocompresor	123
Anexo 19. Lote X. Distribución de Estación de Compresión	125

## **PROLOGO**

Mediante el presente trabajo se da a conocer el procedimiento para estimar uno de los parámetros más importantes en la Ingeniería de Mantenimiento, la Confiabilidad.

Este parámetro es un indicador del funcionamiento de los diversos sistemas y/o subsistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos, etc. de los procesos productivos, pero así mismo es un indicador de desempeño de los equipos que forman parte de un sistema. Para estimar el valor de la confiabilidad se ha considerado la utilización de la herramienta Análisis de Weibull, en el que se da a conocer el procedimiento utilizado y las consideraciones que se deben tomar en cuenta para la el cálculo de la confiabilidad. Ello pasa principalmente por una consistente base de datos, que incluye el modo de falla, el tiempo y la duración de la misma.

El trabajo consta de seis capítulos generales, en el primer capítulo se enmarca el desarrollo del trabajo haciendo mención que el objetivo es concordante con los principios que rige Petrobras.

En los capítulos 2 y 3 se hace mención de la teoría básica para el desarrollo del Análisis de Weibull. El capítulo 2 indica los conceptos de mantenimiento referidos a la Ingeniería de Confiabilidad, y la importancia que tiene la confiabilidad ( $R$ ) como indicador de funcionamiento. En el capítulo 3 se mencionan los conceptos estadísticos introduciendo el evento aleatorio falla con actor principal no deseable en el equipo.

El capítulo 4 describe de las instalaciones objetos de estudio, en forma más específica los Motocompresores de gas natural, así mismo se menciona los estándares internacionales como indicadores referenciales a nivel de empresas líderes en el sector hidrocarburos.

El capítulo 5 describe paso a paso la metodología de estimación de la confiabilidad tomando en cuenta si el equipo ha sufrido paros durante su funcionamiento. La aplicación de la metodología a los equipos en estudio, resultados obtenidos y ahorros obtenidos se indican en el capítulo 6.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 OBJETIVO**

Estimar la confiabilidad mediante el método gráfico (Weibull Paper) y su aplicación a equipos dinámicos en general (Motocompresores Reciprocantes, Bombas, Generadores Eléctricos, Motores Eléctricos, etc.)

A lo largo de la vida útil de un sistema y/o equipo se establecen indicadores de funcionamiento, los cuales pueden ser medidos bajo los conceptos de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad, mediante el uso de modelos matemáticos.

Cabe resaltar que este trabajo se enfoca principalmente en llevar estos conceptos de clase mundial al plano de aplicación “real” en la búsqueda de promover e incentivar las metodologías que permitan dar cumplimiento a la Directriz N° 5 de Petrobras Energía PESA, optimizar la gestión de Confiabilidad de Equipos y alcanzar el Mejoramiento Continuo (tercer nivel de la Pirámide de Excelencia – O.R.O etapa I)

## **1.2 ALCANCE**

El presente trabajo contempla el Sistema de Compresión del Lote X, en el que existen equipos que previamente fueron identificados como “críticos” mediante una Cuantificación de Perdidas (número de fallas con reparaciones, tiempos de paro y su impacto en la producción – Downtime) que serán motivo de estudio.

El programa de Optimización de Recursos Operacionales (O.R.O) fue desarrollado por Petrobras Energía S.A entre otros aspectos:

- Alineación con los criterios de excelencia en la gestión de acuerdo con la norma ISO 9000.
- Disponer de un sistema de calidad aplicado a la gestión de activos de nivel internacional que permita a futuro calificar como “Case Mundial”.
- Asegurar que la confiabilidad sea un tema de uso común en la Gerencia E&P de Petrobras.

En cumplimiento con la política de Calidad, Seguridad, Medio Ambiente contempla para su desarrollo los pilares fundamentales de:

**CALIDAD - CONFIABILIDAD**

## **CAPÍTULO II**

### **INGENIERÍA 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.

Así mismo el concepto de confiabilidad operacional\* esta 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 esta relacionado con parámetros, como la Confiabilidad Humana, Confiabilidad de Procesos y Confiabilidad de Equipos.

---

\* Curso de Confiabilidad Operacional. Oscar Martínez.

- 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 relacionado a las estrategias y efectividad del mantenimiento.
- La confiabilidad del proceso 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.

## **2.2 IMPORTANCIA DE LA CONFIABILIDAD**

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

En años recientes grandes empresas del sector hidrocarburos y de procesos, han volcado su atención en modelos de decisión para optimizar sus costos de productividad, los cuales están relacionados con los costos de mantenimiento.

Para ello podemos mencionar, por ejemplo el Análisis de Riesgo, el cual relaciona en forma cuantitativa el costo que representa las tareas de operación y mantenimiento, y el riesgo que representa las posibles pérdidas a consecuencia de las fallas. La suma de dichas curvas nos proporciona la curva de Impacto Total (R), y esta definido como:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad de Falla} \times \text{Consecuencia}$$

$$\text{Riesgo} = [1 - \text{Confiabilidad}] \times \text{Consecuencia}$$

El mínimo valor de la curva de *Impacto Total* nos indica que en este instante ocurre el impacto mínimo (en el tiempo), y es aquí donde se puede tomar la decisión de realizar el mantenimiento o reemplazar el equipo. Para llegar a determinar el impacto mínimo se debe conocer el valor del riesgo (R). He aquí en donde la probabilidad de falla, complemento de la confiabilidad, cobra suma importancia.

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 dentro de 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 el desenvolvimiento de la Confiabilidad a lo largo de periodo de la vida útil.

Una vez obtenido el valor de la confiabilidad y su desenvolvimiento a través del tiempo, el paso siguiente es aplicar una de las muchas herramientas que existen en el mejoramiento de los Indicadores de Mantenimiento, como el Análisis de Causa-Raíz, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Mantenimiento Productivo Total, etc., tanto al equipo como al sistema de compresión que lo comprende.

Para el propósito mencionado anteriormente se define en el capítulo siguiente algunos conceptos básicos que serán útiles para entender el procedimiento de estimación de la confiabilidad.

## **CAPÍTULO III**

### **CONCEPTOS ESTADÍSTICOS APLICADOS**

#### **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 hasta 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.

### **3.2 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS**

El histograma de frecuencias es un gráfico que nos muestra la frecuencia de ocurrencia a lo largo del tiempo o intervalos de tiempo.

Se llamará histograma de frecuencia absoluta si se indica, en el eje de las ordenadas, el número de veces de ocurrencia en un intervalo de tiempo (horas, días, meses, años, etc.).

Cuando los valores de frecuencia absoluta esta dividida entre el número total de eventos se llamará histograma frecuencia relativa.

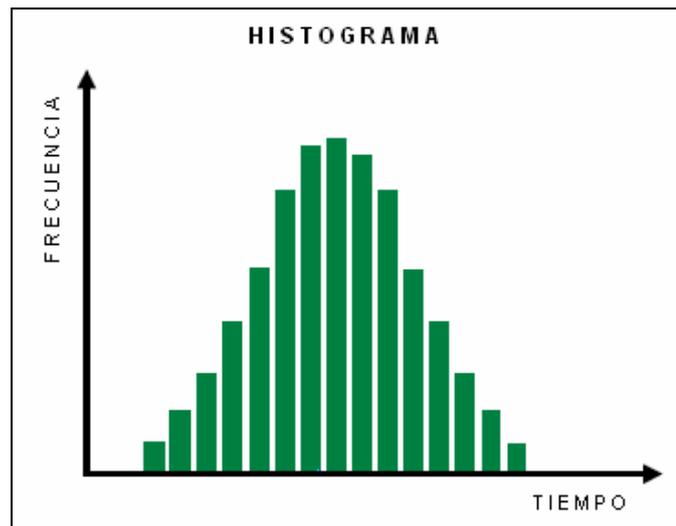


Gráfico 3.1 Histograma de Frecuencias

Con un modelo gráfico podemos relacionar el tiempo de falla y su probabilidad de ocurrencia, de esta forma se puede describir los resultados en una distribución de fallas.

Por medio del histograma de frecuencias podemos conocer la probabilidad de ocurrencia de la variable en estudio. La probabilidad es el producto de la frecuencia relativa (eje y) por el intervalo de tiempo correspondiente (eje x).

### 3.3 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. El modelamiento de la función es más fácil de analizar, ya que se utiliza una curva en vez de una distribución de barras. La notación de la función de densidad de probabilidad es  $f(t)$ ,

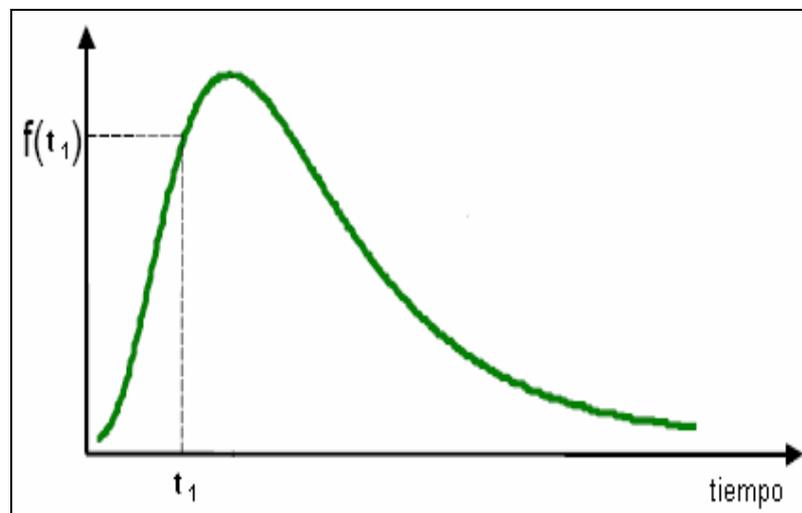


Gráfico 3.2 Función Densidad de Probabilidad

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, etc.)

Propiedades de la función de densidad:

- a. Los valores de probabilidad entre dos magnitudes cualesquiera es la integral entre dichas magnitudes.

$$P(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx$$

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

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

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

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

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.

### 3.3.1 Distribución Normal

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

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

### 3.3.2 Distribución Exponencial

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

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):

$$MTBF = \lambda$$

Y al tiempo promedio de fallas MTTF:

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

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 mas adelante. La función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull se muestra a continuación:

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

### 3.4 FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULADA

Cuando la variable “tiempo de falla” toma el valor  $t$ , es posible hallar la probabilidad mediante la función densidad, pero cuando se desea tener la probabilidad de valores menores o iguales a  $t$ , se acumula los valores de la función de probabilidad y la suma acumulada es la integral de la función Densidad de Probabilidad hasta el tiempo  $t$ .

Para nuestro caso de estudio la Función de Distribución Acumulada es la probabilidad de falla antes del tiempo  $t$ . La notación asignada a la Función de Distribución Acumulada es  $F(t)$ , pero es importante mencionar que  $F(t)$  es obtenido a partir de la acumulación de  $f(t)$  y por lo tanto esta en el rango de valores de  $[0,1]$ .

Propiedades de la función de Distribución Acumulada:

a. Es una función creciente en la variable

$$\text{Si } t_2 > t_1, \text{ entonces } F(t_2) > F(t_1)$$

b. Evaluada para menos infinito toma el valor de cero

$$F(-\infty) = 0$$

c. Evaluada para mas infinito toma el valor de uno

$$F(+\infty) = 1$$

### 3.5 FUNCIÓN DE CONFIABILIDAD

Para asociar un modelo matemático a la probabilidad de falla, definimos la variable aleatoria al tiempo durante el cual el equipo funciona hasta que se produzca una falla. La probabilidad que funcione hasta el instante  $t$  puede definirse como Confiabilidad, designado con la letra  $R(t)$ .

También podemos decir que es la función complementaria a la Distribución Acumulativa en los límites de la integración, y esta definida como:

$$R(t) = \int_t^{\alpha} f(t)dt$$

La probabilidad Confiabilidad  $R(t)$  esta relacionada con la función complementaria  $F(t)$ , el cual nos indica la probabilidad que ocurra una falla antes del instante  $t$ . Esto es explicado más adelante.

Un dispositivo (sistema o equipo) que entra en operación, fallará inevitablemente en el tiempo  $T$  desconocido, entonces se tendrá la función:

$$F(t_1) = \Pr(T < t_1)$$

$T$ : es la variable aleatoria de la función  $F(t_1)$

$F(t_1)$ : es la probabilidad de falla hasta el instante  $t_1$

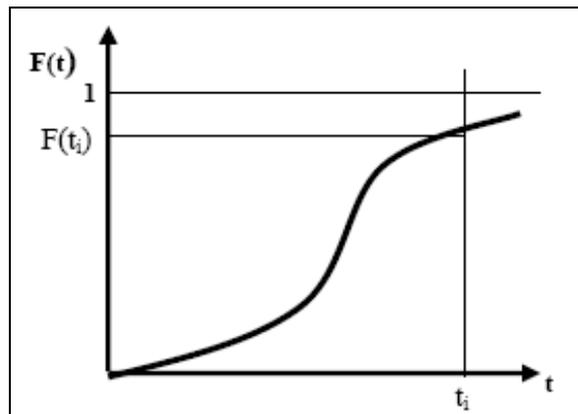


Grafico 3.3 Función de Probabilidad de Falla  $F(t)$

Entonces, el complemento  $R(t_1)$  es la probabilidad de funcionamiento hasta el instante  $t_1$ , y la función quedará de la siguiente manera:

$$R(t_1) = \Pr(T > t_1)$$

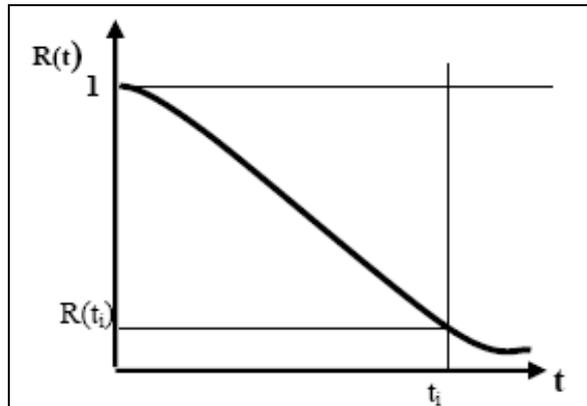


Grafico 3.4 Función de Confiabilidad  $R(t)$

Haciendo referencia a la expresión anterior podemos afirmar que la suma de la función de Confiabilidad y la función de Distribución Acumulada suman la unidad, es decir:

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

La palabra Confiabilidad se refiere en muchas ocasiones a la seguridad que ocurra un evento favorable. Podemos definir la Confiabilidad como la probabilidad de desempeño de un equipo o sistema para que realice su función en un tiempo determinado.

### 3.6 TASA DE RIESGO

La tasa de fallas es la relación entre el número de fallas y la duración del mismo, es decir, el número de componentes que ha dejado de funcionar en un intervalo de tiempo.

Pero si el intervalo de tiempo tiende a cero, la tasa de falla sería instantánea. Cuando la tasa de fallas varía puntualmente en el dominio del tiempo se denomina Tasa de Riesgo. En forma matemática se puede indicar que la tasa de riesgo es:

$$h(t) = \frac{\int_t^{t+\delta t} f(t) dt}{\int_t^{\infty} f(t) dt}$$

Gráficamente es la relación entre la probabilidad de falla y la confiabilidad en un intervalo de tiempo ( $\delta t$ ). Si  $\delta t \rightarrow 0$ , se tendrá una relación puntual, es decir una variación puntual de distribución de fallas, el cual se puede denotar así:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

La Tasa de Riesgo tiene las notaciones de  $h(t)$ ,  $z(t)$  o  $\lambda(t)$ . Durante la operación de un equipo puede ser descrita, a lo largo del tiempo, por la Curva de la Bañera. En esta curva se puede definir tres regiones:

- La primera región corresponde a la llamada “Mortalidad Infantil” que tiene una alta tasa de fallas a la que se pueden atribuir defectos en la fabricación, instalación a montaje, manipuleo, transporte y almacenamiento.
- La segunda región corresponde a una tasa de fallas constante, en donde el uso normal del equipo causa fallas en forma aleatoria.
- La tercera región corresponde a un incremento en la tasa de fallas debido al desgaste de los componentes.

La consecución de cada región nos da la Curva de la Bañera, el cual se muestra a continuación:

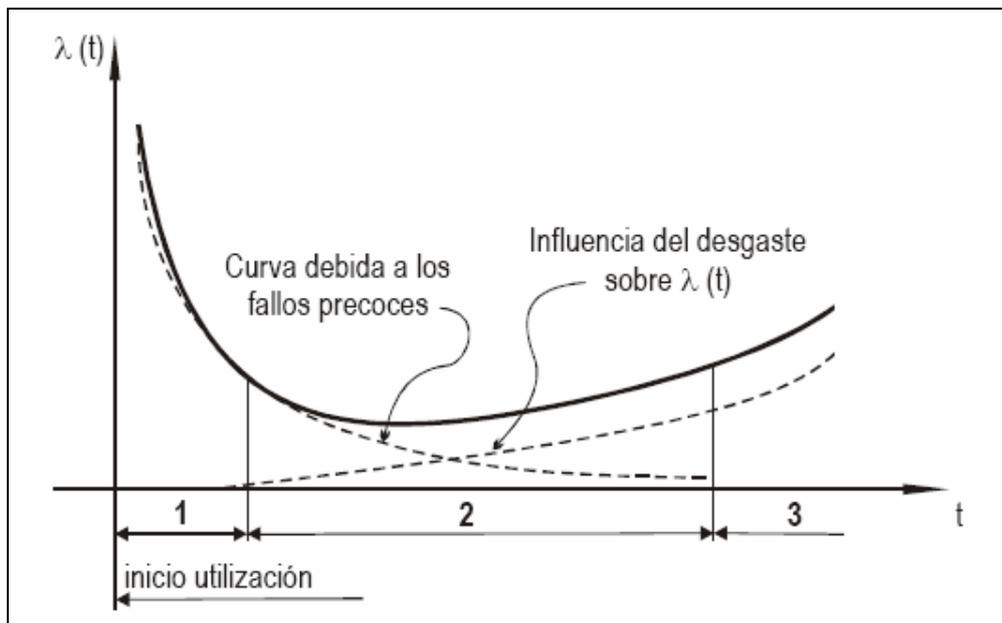


Grafico 3.5 Curva de la Bañera

La forma de la Tasa de Riesgo varia según los valores asignados a los parámetros que definen la función de distribución (Exponencial, Normal, Weibull, etc.), así pues, la función exponencial es la única distribución que se aproxima en gran medida a una tasa de riesgo constante, es decir, que la tasa de fallas está ubicado en la región II.

### 3.7 DIAGRAMA DE WEIBULL

El papel de Weibull se construye a partir de la función que define la distribución de dicha función. El papel de Weibull es un diagrama que se obtiene de la siguiente manera: se asume un valor de  $\gamma = 0$ , esto es que el periodo de análisis comienza para  $t = 0$ , dicho esto la expresión de la distribución de Weibull quedara de la siguiente forma:

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

Ahora procedemos a obtener la función acumulativa de fallas, esto quiere decir que se tiene que integrar la expresión anterior. Se sabe que la integral de una función exponencial esta dado de la siguiente forma:

$$\int f'(x) \exp(f(x)) = \exp(f(x)) + C$$

Identificando las expresiones en la ecuación anterior:

$$f(x) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta} \text{ y } f'(x) = -\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

Entonces la integral (función acumulativa) quedara expresada de la siguiente forma:

$$F(t) = -\exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right) + C$$

La función acumulativa esta limitado  $\langle 0, t \rangle$ , esto quiere decir que la integral se evaluará entre estos puntos.

$$F(x) = -\exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right)\Big|_t + \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right)\Big|_0 = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right)$$

A partir de esta ecuación podemos llevarlo a una expresión lineal, tomando el logaritmo a cada lado de la ecuación:

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

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

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

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

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

Esta es la ecuación con la cual se construye el papel de Weibull. Dicho papel se muestra en el anexo 1.

## CAPÍTULO IV

### DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS A ESTUDIAR

#### 4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

Petrobras Energía S.A. desarrolla actividades de explotación (E&P) de hidrocarburos en el Lote X ubicado en la provincia de Talara, departamento de Piura.

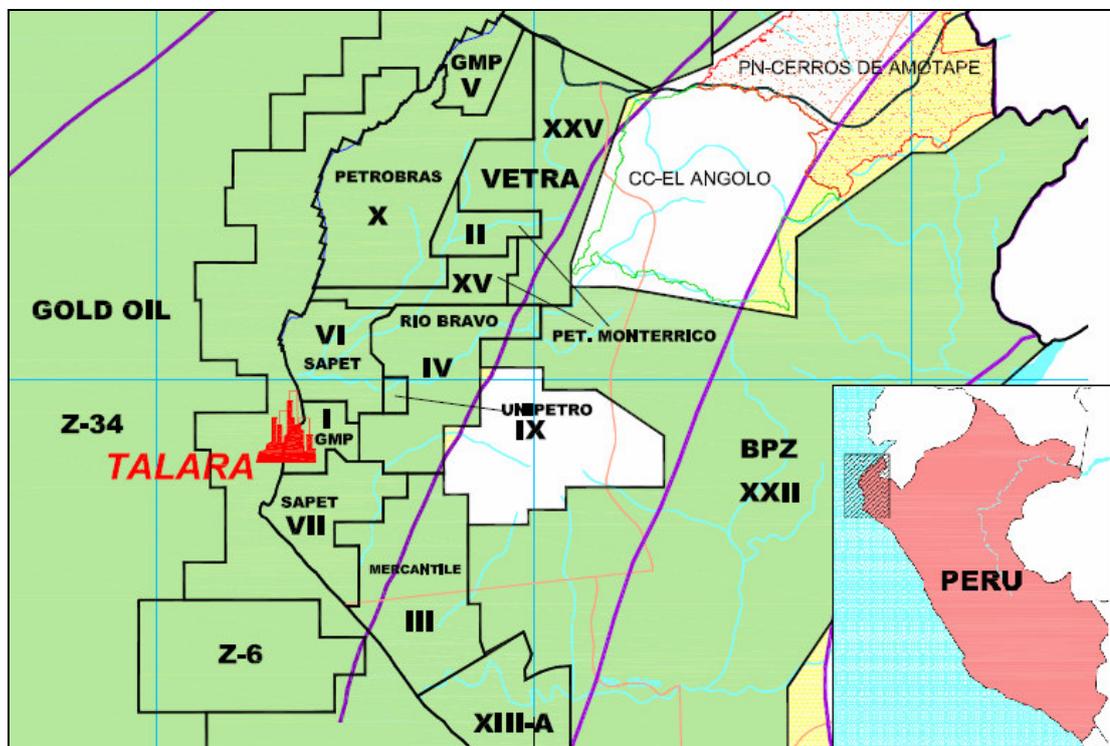


Grafico 4.1 Ubicación del Lote X (Fuente: Perupetro)

La mayoría de los pozos de extracción de petróleo tiene el sistema de Bombeo Mecánico. Al obtener crudo, este viene con diferentes elementos, entre ellas gas natural asociado.

Para el manejo y compresión de gas en el Lote X, Petrobras cuenta con un sistema conformado por nueve estaciones compresoras de gas (*ELA-06, ETA-27, ETA-28, ETA-27, ECA-18, ECA-20, ECA-22, EPN-30, EZA-04*).

Las tuberías que toman la producción de un conjunto de pozos llegan a un punto en común donde se encuentra los Manifold de Campo, es aquí donde se produce la primera separación del gas y el crudo. El gas de salida de los diferentes Manifold de Campo se conectan con gasoductos recolectores, los cuales conducen el gas a las diferentes Estaciones de Compresión distribuidas en el Lote X. En algunas estaciones existen Scrubber en los cuales se produce la condensación del gas, el cual se manifiesta en estado líquido.

Como se mencionó anteriormente, en los manifold de campo se produce la primera separación, y desde aquí el ducto que transporta el petróleo llega a las Baterías, donde llegan varios oleoductos que descargan el crudo a los tanques de almacenamiento. Antes del ingreso a las baterías, el crudo pasa por un Separador, donde se recolecta el gas remanente en el crudo. Así mismo, en los tanques de almacenamiento se aprovecha el gas que todavía puede contener el crudo.

Tanto el gas de los separadores, como el gas del tanque de almacenamiento se dirigen a los gasoductos de recolección para luego dirigirse a las estaciones de compresión.

Cada estación de compresión recibe el gas proveniente de las baterías mediante un sistema de tuberías de recolección de fluidos a la entrada de la estación. Esta corriente se recibe a temperaturas que oscilan entre 90 °F y 95 °F y la presión del gas es regulada, de forma que se reciba a la presión adecuada para la succión del compresor.

La presión en el suministro de gas combustible se regula de acuerdo al requerimiento de cada motor. Las estaciones de compresión tienen sistemas de gas de arranque, que consisten en un sistema de almacenamiento de gas a una presión aproximada de 200 Psig. Estos sistemas permiten almacenar la cantidad suficiente de gas para hacer hasta seis (06) intentos de arranque consecutivos de un motor.

Para efecto de contabilidad de la producción de gas, en cada estación se mide el gas producido, aguas arriba del depurador de entrada. De igual forma, se contabiliza el gas enviado a compresión, el gas combustible y el gas que se toma del Sistema de Gas a Venta para el gas de arranque.



Grafico 4.2 Vista de Equipo Motocompresor (Lote X)



Grafico 4.3 Vista de Separador de Gas de Entrada (Lote X)

El gas natural extraído esta dispuesto a la Venta de Gas a EEP SA (Central Eléctrica de Piura), gas combustible a la planta eléctrica El Alto, Sistemas de Extracción (Plunger Lift) y Recuperación Secundaria.

Las presiones de descarga varían según el servicio que prestan, siendo la descarga de 400 Psi la presión a la que se atiende la venta de gas a EEP SA y a la central eléctrica El Alto. Cabe mencionar que durante la entrega se lleva el registro del poder calorífico del gas, y que el acondicionamiento del gas antes del ingreso a los generadores no es parte del servicio que brinda Petrobras.

#### **4.1.1 Capacidad Total Instalada**

Para todas estas actividades mencionadas se hace uso de Compresores Reciprocantes, los cuales usan como combustible el mismo gas natural extraído para los motores de combustión que accionan dichos compresores.

Los Motocompresores están distribuidos por Estaciones de Compresión en diferentes zonas dentro del Lote X. El número de compresores varía según las características de producción de gas en el campo. La distribución de los motocompresores por Estaciones de Compresión se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Distribución de Motocompresores – Lote X

Estación de Compresión Peña Negra 30 (EPN-30)					
Motor			Compresor		
Marca	Modelo	Potencia (HP)	Marca	Modelo	Cap. (MMPCD)
Waukesha	L-5108 GSI	893	Dresser Rand	4-RDS	2,50
Ajax	DPC-360	360	Ajax	DPC-360	1,20
Caterpillar	G-3306 NA	145	Gardner Denver	SSQ	1,40
Caterpillar	G-3306 NA	145	Gardner Denver	SSQ	1,40
Caterpillar	G-3512 SITA	810	Gemini	D-504	3,80
Caterpillar	G-3406 TA	345	Ariel	JGA/4	1,00
Estación de Compresión Taiman 29 (ETA-29)					
Caterpillar	G-398	370	Ingersoll Rand	2-RDS	1,00
Caterpillar	G-398	370	Ingersoll Rand	2-RDS	1,00
Caterpillar	G-398	370	Ingersoll Rand	2-RDS	1,00
Estación de Compresión Taiman 27 (ETA-27)					
Caterpillar	G-398	370	Ingersoll Rand	2-RDS	1,00
Caterpillar	G-398	370	Ingersoll Rand	2-RDS	1,00
Estación de Compresión Taiman 28 (ETA-28)					
Caterpillar	G-398	370	Ingersoll Rand	2-RDS	1,00
Ajax	C-42	42	Ajax	C-42	0,20
Waukesha	F-1197 GU	142	Ingersoll Rand	ES-2	0,40
Caterpillar	G-398	370	Ingersoll Rand	2-RDS	1,00
Estación de Compresión Laguna 06 (ELA-06)					
Caterpillar	G-398	370	Ingersoll Rand	2-RDS	1,00
Ajax	C-42	42	Ajax	C-42	0,20
Caterpillar	G-398	370	Ingersoll Rand	2-RDS	1,00
Estación de Compresión Carrizo 18 (ECA-18)					
Ajax	DPC-360	360	Ajax	DPC-360	1,20
Estación de Compresión Carrizo 20 (ECA-20)					
Caterpillar	G-398	370	Ingersoll Rand	2-RDS	1,00
Estación de Compresión Carrizo 22 (ECA-22)					
Caterpillar	G-398	370	Ingersoll Rand	2-RDS	1,00
Ajax	DPC-360	360	Ajax	DPC-360	1,20
Caterpillar	G-342	120	Knight	KOA-2	0,50
Estación de Compresión Zapotal 04 (EZA-04)					
Caterpillar	3508	633	Gemini	D-504	2,37
Capacidad Total Instalada (MMPCD)					28,37

Como se muestra en la tabla anterior se tiene una capacidad de compresión total instalada de 28 millones de pies cúbicos por día (MMPCD). De los cuales la Estación EZA 04 no entra en operación para el presente intervalo de tiempo de estudio.

#### **4.1.2 Condiciones Ambientales**

Las características ambientales donde se desenvuelven los Motocompresores son los siguientes:

Altitud	:	120 m.s.n.m.
Presión Barométrica	:	14.7 PSIA
Temperatura		
Mínima	:	60 °F
Máxima	:	120 °F
Promedio	:	95 °F
Zona Sísmica	:	Zona 3
Zona	:	Polvoriento, ambiente marino
Lluvias	:	Área desértica, se registran lluvias en condiciones excepcionales con una intensidad máxima de 125 mm en 8 horas.
Vientos	:	Dirección predominante SE
Velocidad Máxima	:	56 km/h

#### **4.1.3 Cromatografía del Gas Natural**

Las características químicas del gas natural disponible en el Lote X, tanto en el servicio de venta de gas como en las baterías, son de acuerdo al análisis cromatografico.

El siguiente cuadro indica los componentes en porcentaje de volumen:

Tabla 4.2 Cromatografía del Gas Natural – Lote X

COMPONENTE	PROMEDIO BATERIAS	VENTA DE GAS
C1	89,2480	91,879
C2	3,9890	3,35358
C3	1,9253	1,47836
iC4	0,8036	0,55263
nC4	1,0057	0,68547
iC5	0,6288	0,37084
nC5	0,3903	0,21252
C6+	1,0661	0,45909
CO2	0,5323	0,47674
O2	0	0
N2	0,4103	0,5318
BTU / PC	1054,91	1098,36
GR. ESP.	0,6432	0,63459

Los valores referidos a las baterías son un promedio ponderado de las mismas y que varían de acuerdo a la zona de extracción. Los valores en porcentaje de H<sub>2</sub>S (sulfuro de hidrogeno) tienen valores mínimos, y por esta razón no se tienen problemas de gases ácidos en los gasoductos ni en los equipos.

La variación en porcentaje de los componentes se debe a que a lo largo del recorrido del gas existen equipos (separadores y scrubbers) que hacen posible esta variación, sin embargo, el mismo gas es utilizado para la compresión, como combustible de los motores que accionan los compresores, y para los demás servicios que prestan.

## **4.2 ESTADO SITUACIONAL DE LOS MOTOCOMPRESORES**

El Lote X es actualmente explotado por Petrobrás Energía, antes operada por la compañía Pérez Compac y anteriormente a esta, producto de la privatización, por la empresa estatal Petroperu. Según ello Petrobras adquiere todos los activos dentro de los cuales se encuentran los Motocompresores, esto implica que asume el estado actual de los equipos incluyendo los inconvenientes que pueda producir en la operación.

Desde que Petrobras asumió las actividades de producción de petróleo, se ha comenzado con el registro de las actividades de operación y mantenimiento, ya que anteriormente no se llevaba una bitácora de dichas actividades, por lo tanto no se sabe con exactitud cuantas reparaciones, mantenimientos menores y mayores ha tenido los equipos Motocompresores. A ello se suma el año de instalación de dichos equipos, los cuales tienen un promedio de treinta años de antigüedad.

Las labores de Operación y Mantenimiento de los equipos Motocompresores esta a cargo de la empresa Skanska (Operaciones Talara – Lote X), el cual viene colaborando con Petrobras desde el año 2002. A continuación presentamos un cuadro en donde se indica el año de instalación y las capacidades actuales de operación de cada uno de los Motocompresores:

Tabla 4.3 Capacidad Instalada de Motocompresores

Estación de Compresión Peña Negra 30 (EPN-30)				
Ítem	Motor	Compresor	Cap. Real (MMPCD)	Año Instalación
C1	Waukesha	Dresser Rand	1,88	1994
C2	Ajax	Ajax	0,60	1981
C4	Caterpillar	Gardner Denver	1,15	1998
C5	Caterpillar	Gardner Denver	1,15	1998
C6	Caterpillar	Gemini	2,30	1998
C7	Caterpillar	Ariel	0,90	2002
Estación de Compresión Taiman 29 (ETA-29)				
C2	Caterpillar	Ingersoll Rand	0,90	1974
C3	Caterpillar	Ingersoll Rand	0,90	1974
C4	Caterpillar	Ingersoll Rand	0,90	1974
Estación de Compresión Taiman 27 (ETA-27)				
C1	Caterpillar	Ingersoll Rand	0,95	1974
C2	Caterpillar	Ingersoll Rand	0,95	1974
Estación de Compresión Taiman 28 (ETA-28)				
C1	Caterpillar	Ingersoll Rand	0,95	1974
C2	Ajax	Ajax	0,05	1982
C3	Waukesha	Ingersoll Rand	0,20	1974
C4	Caterpillar	Ingersoll Rand	0,95	1974
Estación de Compresión Laguna 06 (ELA-06)				
C1	Caterpillar	Ingersoll Rand	0,90	1974
C2	Ajax	Ajax	0,00	1982
C3	Caterpillar	Ingersoll Rand	0,90	1974
Estación de Compresión Carrizo 18 (ECA-18)				
C2	Ajax	Ajax	0,96	1981
Estación de Compresión Carrizo 20 (ECA-20)				
C1	Caterpillar	Ingersoll Rand	0,95	1974
Estación de Compresión Carrizo 22 (ECA-22)				
C2	Caterpillar	Ingersoll Rand	0,9	1974
C3	Ajax	Ajax	0,96	1981
C4	Caterpillar	Knight	0,4	1980
Estación de Compresión Zapotal 04 (EZA-04)				
	Caterpillar	Gemini	2,37	2007

La distribución del gas natural se divide en sistemas de utilización, de los cuales el más importante es la Venta de Gas a EEP SA y la entrega de gas combustible a la central eléctrica de El Alto. Las otras actividades propias de explotación se muestran en el siguiente cuadro.

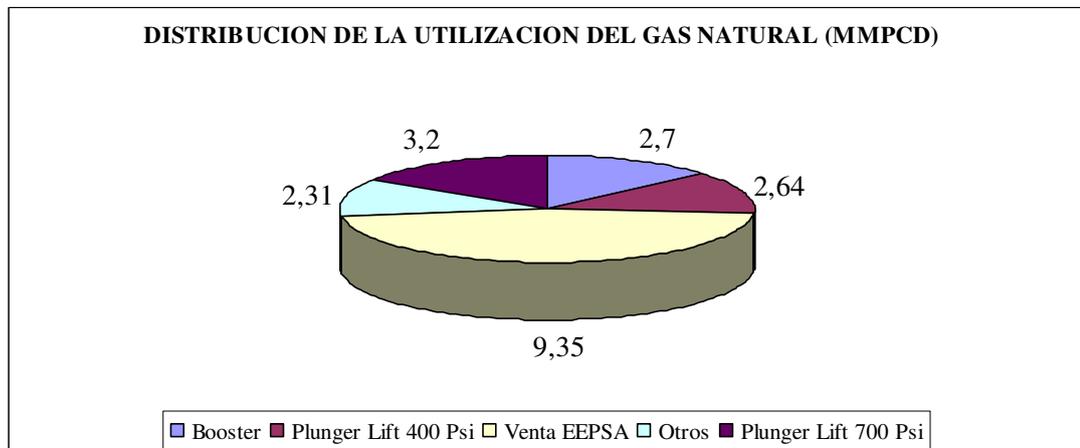


Grafico 4.4 Distribución de la Utilización del Gas Natural

### 4.3 ESTANDARES REFERENCIALES DE CONFIABILIDAD

Antes de iniciar el desarrollo de la metodología de estimación de la Confiabilidad, haremos referencia a los estándares que nos servirá como comparación en valores de Confiabilidad.

Para ello tenemos dos referencias básicas, el Handbook OREDA (Off Shore Reliability Data) y la Norma ISO 14224 (Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries – Collection and Exchanges of Reliability and Maintenance data for Equipment).

#### 4.3.1 Manual Oreda

The Offshore Reliability Data (Oreda) fue establecido en 1981 en cooperación con el Instituto de Petróleo de Noruega. Inicialmente el proyecto contemplaba la recolección de datos de confiabilidad de equipos.

La actual organización, como un grupo cooperante de muchas compañías de petróleo, fue establecida en 1983, y al mismo tiempo el alcance del Oreda fue extendido a cubrir un rango extenso de equipos usados en la exploración y producción de petróleo y gas.

En la elaboración de datos referenciales de mantenimiento se encuentran empresas de amplia experiencia en el campo del petróleo como Exxon Mobil Internacional Ltd, Shell E&P, Statoil ASA, Total Fina Elf, BP Exploration Operating Company Ltd y Phillips Petroleum Company Norway.

El Handbook OREDA es el resultado de la necesidad de tener estándares para el diseño, operación y mantenimiento de equipos en las actividades E&P. El presente trabajo se toma como referencia lo indicado en este manual, ya que los equipos mencionados en el manual son similares a los existentes en el Lote X. La siguiente tabla indica los algunos de los equipos cubiertos en el manual:

Sistema	Clase de Equipo
Equipos Dinámicos	Turbinas a Gas
	Compresores
	Motor de Combustión
	Bombas
	Turboexpansores
	Generadores Eléctricos
	Motores Eléctricos
Equipos Estáticos	Recipientes de almacenamiento
	Calentadores y calderas
	Intercambiadores de Calor

El manual Oreda presenta altas calidades de datos de confiabilidad para equipos coleccionados durante revisiones previas a la actual. La intención del manual es proveer información cualitativa y cuantitativa como una base de análisis. El procedimiento de estimación del manual se basa en métodos estadísticos para tasas de fallas promedios.

Tabla 4.4 Valores Estadísticos de Falla

ITEM		Falla / hora ( $10^{-6}$ )	
COMPRESSOR	COMPRESSOR SCREW	General	
		Critico	410
		Incipiente	291
		Driven Diesel	
		Critico	352
		Incipiente	203
		Electric Driven	
		Critico	73
	COMPRESSOR CENTRIFUGAL	General	
		Critico	250
		Incipiente	75
		Electric Driven	
		Critico	233
		Incipiente	77
		Turbine Driven	
Critico		245	
COMPRESSOR RECIPROCANTE	General		
		347	
MOTOR ENGINE	NATURAL GAS	Critico	238
		Incipiente	80
	DIESEL	Critico	84
		Incipiente	17

El manual OREDA se basa en el siguiente concepto: la tasa de falla nos dice cuan probable es que un ítem (componente o equipo) que ha sobrevivido hasta un tiempo  $t$ , falle durante la próxima unidad de tiempo. Si el ítem se esta deteriorando, la probabilidad se incrementara con el paso del tiempo. Si una persona que ha llegado a la edad de 95 años tiene una alta probabilidad de morir en los próximos 20 años. Por eso la función de tasa de falla esta en función del tiempo.

Al dar una definición matemática de la función de la tasa de falla, comenzamos con el tiempo de falla  $T$  de un ítem, por ejemplo; el tiempo desde la puesta en operación hasta la ocurrencia de falla. Es generalmente imposible predecir con exactitud el tiempo de la falla, y por lo tanto  $T$  será una variable aleatoria con alguna distribución. La distribución de tasa de falla puede ser definida así:

$$\lambda(t).\Delta t = \Pr(t < T < t + \Delta t | T > t)$$

El lado derecho de la ecuación denota “la probabilidad que el ítem falle en el intervalo de tiempo  $(t, t + \Delta t)$ , donde el ítem todavía esta funcionando hasta el tiempo  $t$  o en otras palabras “la probabilidad que un ítem que ha llegado hasta la edad  $t$ , falle en el próximo intervalo  $(t, t + \Delta t)$ .”

La vida técnica de un ítem generalmente puede ser dividida en tres diferentes fases: mortalidad infantil, vida útil y de desgaste. Estas tres fases fueron explicadas anteriormente.

Muchos de los ítem cubiertos por el manual Oreda están sujetas a políticas de mantenimiento y reemplazo. Por eso los ítems a menudo están sujetos a ser reemplazados antes de que lleguen a la fase de desgaste, y por lo tanto los datos estadísticos presentados tienen la siguiente premisa:

*Todas las tasas de fallas estimadas presentes en este manual están basadas en el supuesto que la función de tasas de fallas es constante e independiente del tiempo, en tal caso  $\lambda(t) = \lambda$ .*

En el caso de que se asuma o que se considere “tan bueno como nuevo” a lo largo de su funcionamiento, la tasa de fallas es constante y las fallas son independiente de la edad de cada uno de ellos.

La estimación de la tasa de fallas esta dado por:

$$\lambda = \frac{\text{Numero.de.fallas}}{\text{tiempo.de.servicio}} = \frac{\eta}{\tau}$$

#### **4.3.2 Norma ISO 14224**

El Mantenimiento actual requiere de la importancia de medición de resultados y el ordenamiento de datos, para poder administrarlos y compararlos con indicadores de clase mundial.

En la industria de petróleo, gas natural y petroquímica, las grandes empresas prestan atención a la seguridad, confiabilidad y mantenimiento de equipos. El costo anual destinado a la confiabilidad en equipos es muy grande, a pesar de que muchos administradores de las plantas han mejorado la confiabilidad de en las instalaciones. En este sentido, los datos de fallas, mecanismos de fallas y mantenimiento relacionados con estas instalaciones industriales y sus operaciones, han pasado a ser de mayor importancia.

Es necesario que esta información sea utilizada y comunicada entre las distintas áreas y disciplinas, dentro de la misma empresa o entre empresas. Diversas metodologías de análisis se utilizan para estimar el riesgo de los peligros a las personas y el medio ambiente, o para analizar la planta o el rendimiento del sistema. Para este tipo de análisis es efectivo y decisivo, la confiabilidad de los equipos y el almacenamiento y procesamiento de datos.

Estos análisis requieren un claro entendimiento del equipo, las características técnicas de su funcionamiento y las condiciones ambientales, sus posibles fallos y sus actividades de mantenimiento. Puede ser necesario disponer de datos que abarcan varios años de operación antes de tener suficientes datos acumulados para la confianza en el análisis de los resultados y de apoyo a las decisiones pertinentes.

Por lo tanto es necesaria la recopilación de datos como una actividad a largo plazo, planificada y ejecutada con las metas en mente. Al mismo tiempo, claridad en cuanto a las causas de las fallas es clave para establecer prioridades y aplicar medidas correctivas que resulten en mejoras sostenibles en la confiabilidad, y nos lleven a una mejora de la rentabilidad y seguridad.

La recopilación de datos es una inversión (tanto de tiempo como de recursos). Los datos de estandarización cuando son combinados con una mejora del sistema gestión de datos que permitan la recopilación electrónica y la transferencia de datos, puede resultar en una mejora de la calidad de los datos de confiabilidad y mantenimiento.

Una forma rentable de optimizar las necesidades de datos de la industria es a través de la cooperación, que permitirá recoger, intercambiar y analizar los datos basados en puntos comunes de vista, esta podría ser una norma obligatoria.

La estandarización de los datos recogidos facilita el intercambio de información entre las partes, por ejemplo entre las plantas, los propietarios, los fabricantes y contratistas.

Los modos de falla son importantes por que así se evitan ambigüedades en el personal para determinar si un evento ocurrido es o no una falla. Y esto es uno de los paradigmas más difíciles de cambiar, ya que el personal aun esta mentalizado en conocer todas las fallas de los equipos, pero desconoce la clasificación y el ordenamiento del mismo.

El registro de datos según la aplicación de la norma ISO 14224 tiene como objetivos especificar los datos que serán recolectados para el análisis de:

- Diseño y configuración del sistema
- Seguridad, confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y las plantas
- Costo del Ciclo de Vida
- Planeamiento, optimización y ejecución del mantenimiento.

Una de las herramientas del análisis económico necesita conocer, para cada equipo, cuando ocurrió un evento, el tipo de evento ocurrido (falla, mantenimiento preventivo, correctivo, etc.), el costo en términos de mano de obra, repuestos y pérdida de producción por paro del mismo, y con estos datos cuantificar las pérdidas y llevar un historial de la misma.

Los modos y la descripción de las fallas se encuentran indicados en una tabla en el anexo 2.

## **CAPÍTULO V**

### **DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE WEIBULL**

#### **5.1 GENERALIDADES**

La distribución de Weibull es usada en el estudio de las fallas de componentes mecánicos a través del tiempo, pero a diferencia de la distribución exponencial, que también es usada en el campo de la confiabilidad, la distribución de Weibull ofrece las siguientes características de estudio que nos ha llevado a su elección:

- La distribución de Weibull puede cubrir propiedades de otras distribuciones, es decir, si los parámetros ( $\beta$ ,  $\eta$  y  $\gamma$ ) toman valores particulares puede utilizarse como una aproximación a la distribución Exponencial, Normal, etc.
- La distribución de Weibull abarca las diferentes variaciones (regiones) de la tasa de riesgo (regiones I, II y III), ya que la tasa de riesgo  $h(t)$  no permanece constante en el tiempo y depende del estado situacional del equipo.

## 5.2 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

Como se mencionó anteriormente el objetivo del presente informe es obtener una estimación de la confiabilidad a los equipos dinámicos críticos por medio del Análisis de Weibull. A continuación se presentará el procedimiento de estimación de parámetros que definen la distribución de Weibull. La distribución de Weibull es de la siguiente forma:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left( - \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right) \quad \text{para } t > \gamma$$

$$f(t) = 0 \quad \text{para } t \leq \gamma$$

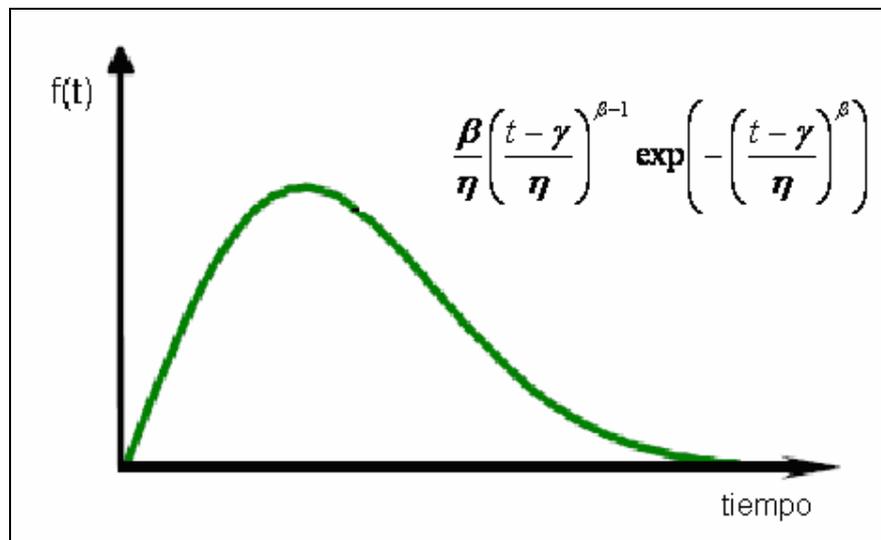


Grafico 5.1 Distribución de Weibull

Los parámetros que definen la distribución de Weibull son los siguientes:

$\gamma$  (gamma)

Por definición la función densidad de probabilidad es cero para  $t \leq \gamma$ . La forma más general de la distribución de Weibull es considerando  $\gamma = 0$ , en cuyo caso el análisis coincide con el inicio del funcionamiento del equipo o componente.

$\beta$  (beta)

También llamado parámetro de forma, este valor determina la forma de la distribución. Los valores de este parámetro hacen que la forma que tome se aproxime a las diferentes distribuciones (cuando  $\beta < 1$  toma forma de la función hiperbólica,  $\beta = 1$  toma la forma de función exponencial, etc.)

$\eta$  (eta)

La forma de la extensión de la distribución es proporcional a este valor.

La Función Distribución Acumulativa de la distribución de Weibull es de la siguiente forma:

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

Cuando  $t - \gamma = \eta$ , el valor de  $F(t)$  es 63.2% y la función acumulativa no depende de los valores que pueda tomar  $\beta$ .

La función de Confiabilidad esta definida como el complemento de la Función de Distribución Acumulada, es decir:

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

Por lo tanto la Función de Confiabilidad de la distribución de Weibull es:

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

La función Tasa de Riesgo (Tasa instantánea de falla) quedará definida como:

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

De acuerdo a los valores que tome el parámetro  $\beta$  la tasa de riesgo tendrá diferentes comportamientos (Curva de la Bañera).

Tabla 5.1 Tendencia de  $h(t)$  respecto a  $\beta$

Valores de $\beta$	Tendencia de $h(t)$
$\beta < 1$	$h(t)$ decrece, período de Mortalidad Infantil
$\beta \approx 1$	$h(t)$ es constante, fallas aleatorias
$1.5 < \beta < 2.5$	fenómeno de fatiga
$3 < \beta < 4$	fenómeno de desgaste

Una característica en confiabilidad es el tiempo medio entre fallas (MTBF), el cual se aplica a unidades reparables. Cabe la aclaración en este punto, ya que si bien es cierto existen componentes específicos que no son reparables (cojinetes, anillos, etc.) se considera al Motocompresor como una unidad (motor, compresor y panel de control), y como tal es un equipo que esta sometido a reparación continuamente. Este valor se calcula de la siguiente forma:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n TBF}{\sum fallas}$$

### **5.3 ESTIMACIÓN DE LOS PARAMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL**

#### **5.3.1 Paso 1**

El Registro de las Fallas con sus respectivos tiempos será la partida para obtener los parámetros que definan la distribución de Weibull.

Antes de estimar los parámetros se deben realizar lo siguiente:

- a. Agrupar los datos en forma ascendente, según el tiempo de falla.
- b. Una vez ordenados se procede a estimar el Porcentaje de Fallas Acumulativa, que es la Función de Distribución Acumulativa  $F(t)$ , según corresponda el orden de agrupamiento.

### 5.3.2 Paso 2

Ahora, ¿cómo obtenemos el porcentaje de fallas acumulativas?. Para tener una idea de este valor se mencionará el siguiente ejemplo: Considerar que se tiene el registro de cinco fallas ( $f_1, f_2, f_3, f_4$  y  $f_5$ ), ordenados en forma ascendente. La probabilidad de que ocurra la primera falla es:

$$P(1 \text{ falla}) = F_1 = \frac{\#.de.fallas}{\#.total.de.fallas} = \frac{1}{5} = 20\%$$

Para la segunda falla se tendrá una probabilidad de 40%, y así se tendrá un estimado para los demás valores de Porcentaje de Fallas Acumulativas. Para una mejor aproximación de  $F(t)$  se usa los valores de Rango Medio. Los valores de rango medio están tabulados y el modo de obtención de estos valores es mediante la resolución de la siguiente ecuación:

$$\sum_{r=i}^n \frac{n!}{r!(n-r)!} [F(t)]^r [1-F(t)]^{n-r} = 0.5 \quad (1)$$

donde:

$i$  : número de orden de la observación (falla)

$n$  : tamaño del ejemplo o de la muestra (número de ítem)

---

(1) Fuente. Maintenance Replacement and Reliability. Theory and Applications. Jardine A.

Por ejemplo si tenemos 10 ítems y deseamos calcular el valor de rango medio de la tercera falla, se tendrá los siguientes datos:  $i = 3$  y  $n = 10$ . Reemplazando los valores en la ecuación:

$$\sum_{r=3}^n \frac{10!}{3!7!} [F(t)]^r [1 - F(t)]^{10-r} = 0.5$$

Por ejemplo al resolver la ecuación para  $t = 3$ , se obtiene el valor de  $F_{(3)} = 0.25857$ . Los valores de Rango Medio de la ecuación anterior se encuentran en la tabla del anexo 3.

Para tamaños de muestra mayores a 20 se aplicará la formula de aproximación de rangos medios, que se muestra a continuación:

$$F(i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (1)$$

Para tamaños de muestra mayores a 100 se aplicará la formula de aproximación siguiente:

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

---

(1) Mantenimiento. Su Implementación y Gestión. Leandro Torres.

Entonces hasta este momento tenemos la siguiente tabla de valores:

Tiempo de falla	Porcentaje de falla acumulativa F(t)
T1	F1
T2	F2
T3	F3
T4	F4
T5	F5

Cabe mencionar que los valores calculados hasta este momento pertenecen a los valores con un 50% de confianza. Es decir, se tiene un 50% de confianza para esperar que se de un valor de probabilidad. Es posible incrementar el valor de la confianza mediante procedimientos gráficos en el papel de Weibull, los cuales pueden ser por intervalos de confianza o hacer uso de valores tabulados. De acuerdo a la tabulación en el papel de Weibull se podrán esperar valores del orden del 90% o 95% de confianza.

Por lo general los análisis se realizan con valores de Rango Medio (50%) para estimación de la Confiabilidad, ya que los valores son más fáciles en el procedimiento de cálculo.

### **5.3.3 Paso 3**

A continuación se tabula los valores de tiempo de falla (eje x) y distribución acumulada (eje y), esto nos dará una consecución de puntos en el cual trazaremos una recta que contenga la mayor cantidad de datos.

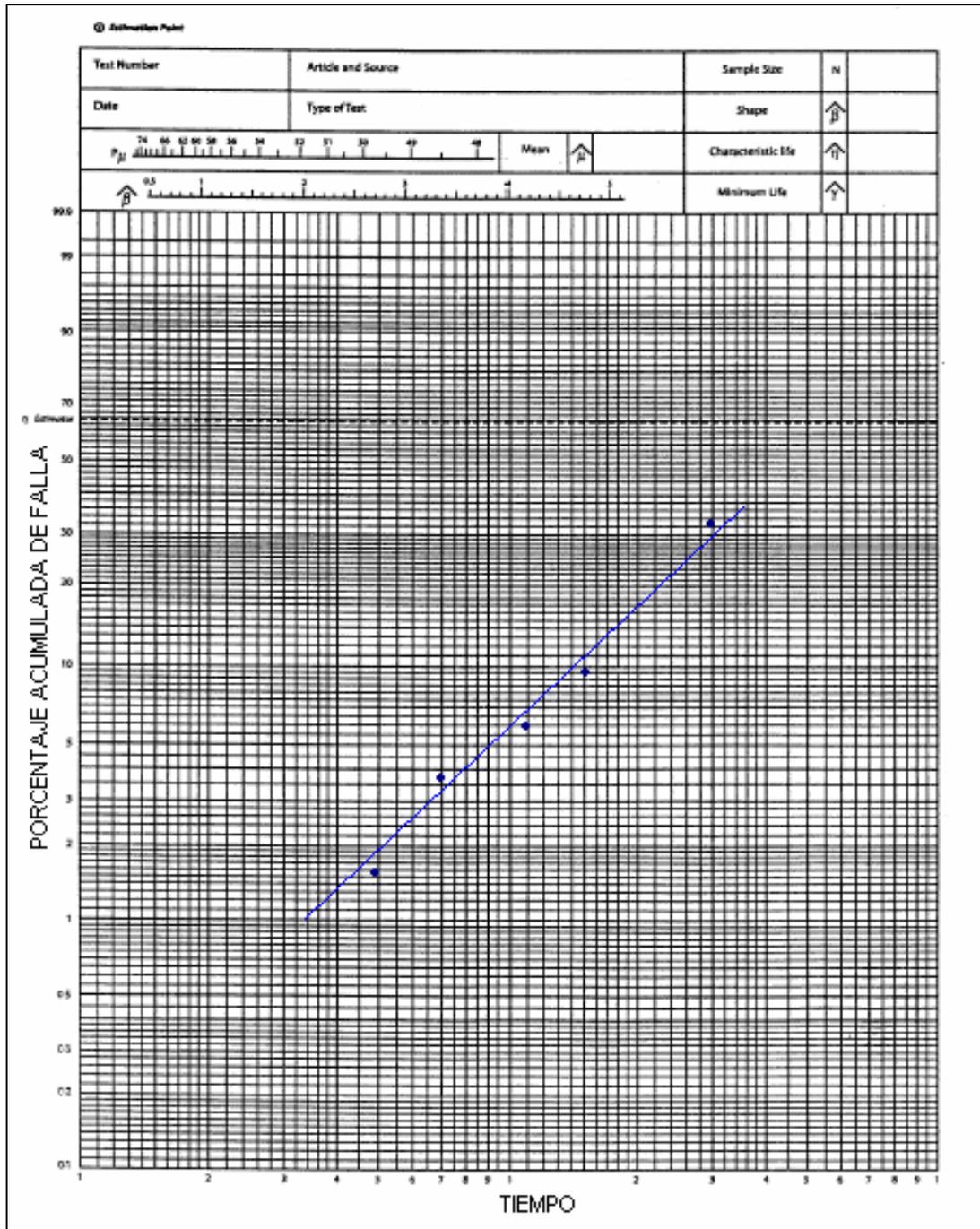


Grafico 5.2 Trazado de Línea Recta – Weibull Paper

### 5.3.4 Paso 4

Para obtener el parámetro  $\beta$  se traza una perpendicular a la recta anterior y la intersección (punto color verde) nos da el valor de forma.

El punto de referencia esta ubicado en la parte superior izquierda (punto color rojo).

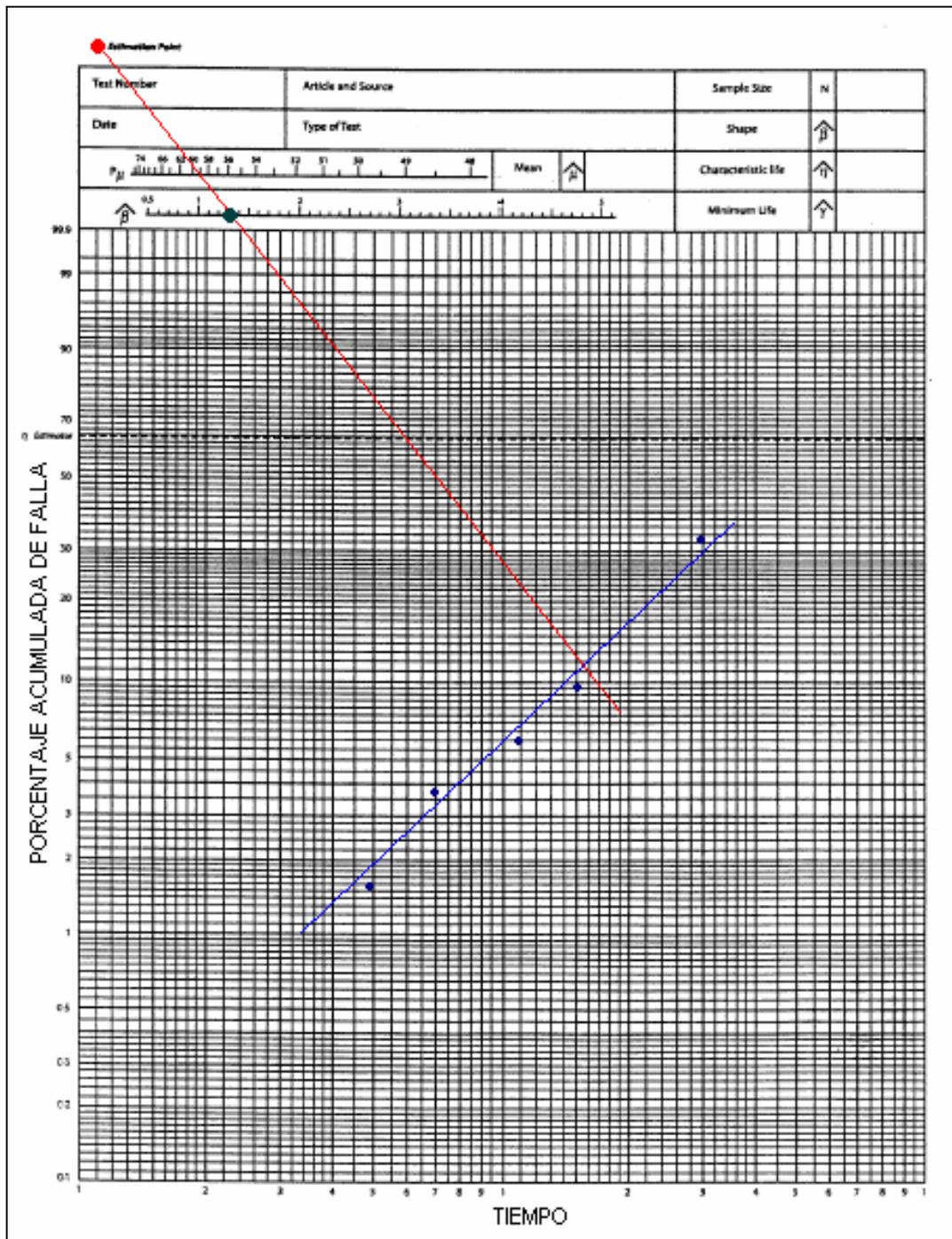


Grafico 5.3 Trazado de Línea Perpendicular – Weibull Paper

Como una forma de optimizar la obtención de los parámetros que definen la distribución de Weibull, se aproxima la recta mediante cálculos de regresión lineal. La variación en la obtención de los parámetros es mínima, ya que de acuerdo con el registro de fallas y las actividades de operación y mantenimiento, los equipos en estudio se desenvuelven dentro de un campo inherente a su condición. Esta última observación es evidente por la antigüedad de los Motocompresores existentes en el Lote X.

Así mismo la recta trazada perpendicularmente intersecta con el eje de valores de  $P_u$ , este valor nos sirve para obtener los valores de la media de la distribución, pero que en el presente trabajo no será tomado en cuenta para los fines antes mencionados.

### **5.3.5 Paso 5**

Para determinar el parámetro  $\eta$ , ubicaremos la intersección de la línea trazada inicialmente y la línea horizontal correspondiente al valor de 63.2% del eje de porcentaje acumulado de fallas  $F(t)$ . El valor que corresponde al 63.2% se indica claramente con una línea punteada. Al punto de intersección (punto color amarillo) le corresponde un valor en el eje de las abscisas (punto color marrón), este valor hallado es el parámetro  $\eta$ .

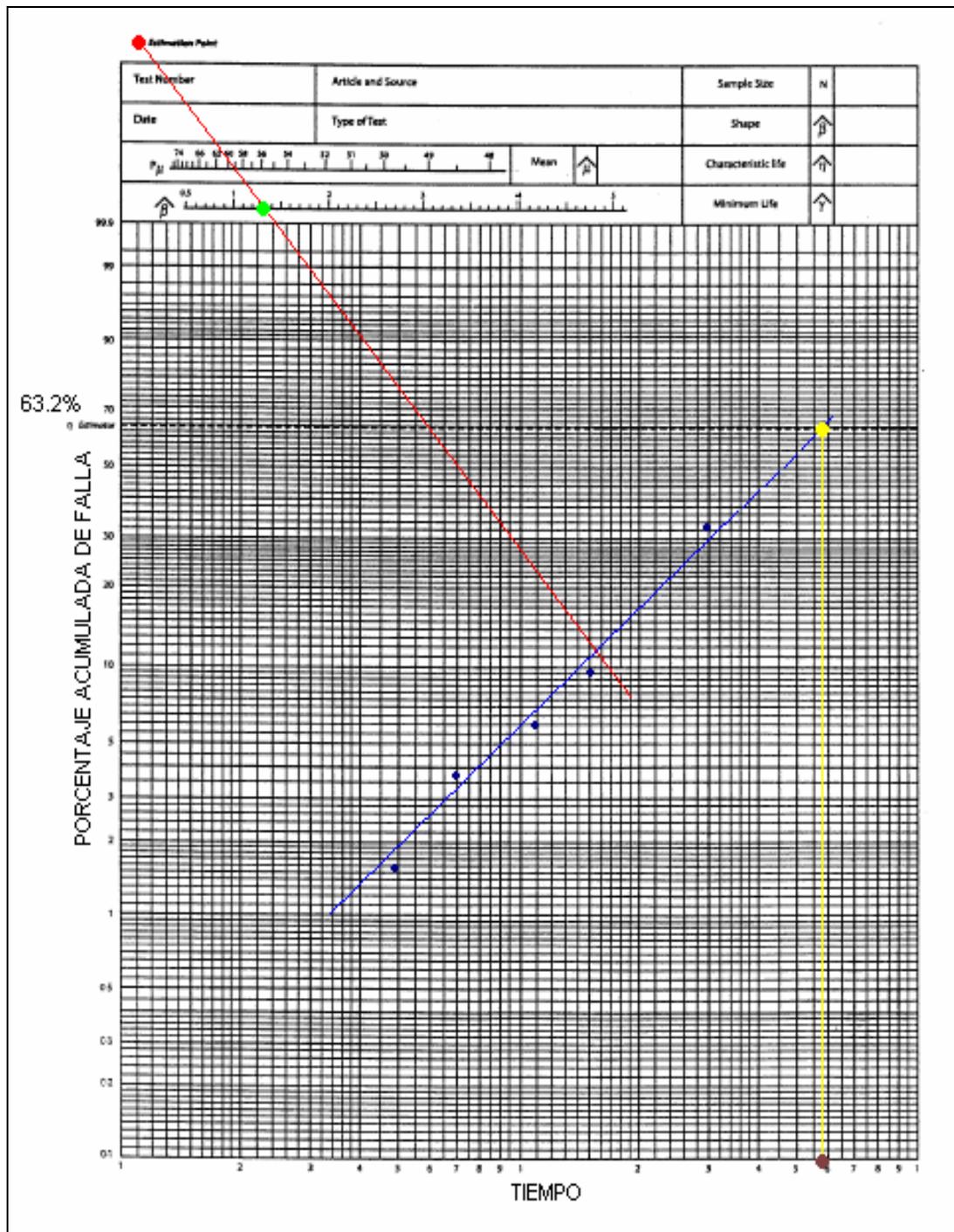


Grafico 5.3 Estimación del parámetro  $\eta$  (eta)

## 5.4 ANÁLISIS DE FALLAS CON SUSPENSIONES

En muchas ocasiones uno o algunos de los componentes (o equipos) salen fuera de servicio antes de que la falla se produzca, a esta situación se le denomina **Suspensión**. En esta sección se presentará el procedimiento para la obtención de los valores (tiempo de falla y  $F(t)$ ) que nos permitirá graficar en el papel de Weibull, y así poder determinar los parámetros de la distribución de Weibull.

A menudo uno de los problemas que se tiene es determinar el orden en el cual se ha producido la falla, es decir, ¿Como se puede determinar el orden de tiempo de falla si tenemos un componente que fue suspendido? Para ello emplearemos la siguiente expresión matemática:

$$m_i = m_{i-1} + \frac{(n+1-m_{i-1})}{1+k_i}$$

donde

$m_i$  : número de orden medio.

$m_{i-1}$  : número de orden medio anterior.

$n$  : total de eventos (fallas y suspensiones)

$k_i$  : número de componentes operativos (o ítems) antes de la falla de orden  $i$ .

Ejemplo Numérico

Se tienen los siguientes ítems de tiempo de falla: 31, 39, 57, 65, 70, 105 y 110 horas.

Los ítems en donde ha ocurrido suspensión son: 64, 75, 76, 87, 88, 84, 101, 109 y 130 horas. Estos datos lo llevamos a una tabla para su ordenamiento.

	<b>Tiempo de Falla (Hr)</b>	<b>Tiempo de Suspensión (Hr)</b>	<b>Numero de orden medio</b>
Falla 1	31		1
Falla 2	39		2
Falla 3	57		3
		64	
Falla 4	65		?
Falla 5	70		?
		75	
		76	
		84	
		87	
		88	
		101	
Falla 6	105		?
		109	
Falla 7	110		?
		130	

Como se muestra en la tabla, el número de orden de tiempo de falla será calculado usando la formula indicada. Para el cálculo del número de orden medio de tiempo de falla 4 ( $i = 4$ ) se procede de la siguiente manera:

- Primero se identifican las variables a tomar en cuenta para el cálculo.
- El número total de la muestra que es 16,  $n = 16$ .
- El número de componentes operativos es  $16 - 4 = 12$ , por lo tanto  $k_4 = 12$ .
- El número de orden medio anterior es 3, entonces  $m_3 = 3$ .

Ahora reemplazando en la formula:

$$m_4 = 3 + \frac{(16+1-3)}{1+12} = 4.076$$

Del mismo modo para el siguiente número de falla, es decir orden medio de tiempo de falla 5 ( $i = 5$ ). El número de componentes operativos es  $16 - 5 = 11$ , por lo que  $k_5 = 11$ , y ahora  $m_4 = 4.076$ . Entonces:

$$m_5 = 4.076 + \frac{(16+1-4.076)}{1+11} = 5.153$$

Ahora para la falla 6, se tiene  $i = 6$ , ahora al número de componentes operativos se considera el número de total de eventos (fallas y suspensiones), es decir 12. Ahora el valor de  $k_6 = 16 - 12 = 4$ . Entonces:

$$m_6 = 5.153 + \frac{(16+1-5.153)}{1+4} = 7.522$$

Y para el valor de  $i = 7$ , se tiene:

$$m_7 = 7.522 + \frac{(16+1-7.522)}{1+2} = 10.68$$

Ahora se tiene todos los valores de la orden de numeración, a partir de aquí ya se puede obtener los valores del rango medio. Pero como se observa en las tablas respectivas los valores del orden de numeración son enteros, pero se pueden obtener los valores exactos de rango medio interpolando los mismos.

## **5.5 ANÁLISIS DE GRUPO DE FALLAS CON MÚLTIPLES SUSPENSIONES**

Cuando se tiene un gran número de fallas, existe la posibilidad de agruparlos en clases (intervalos) para facilitar el procedimiento de cálculo. Para ello se tiene una base de datos en las que se tiene muchas fallas y suspensiones.

La tasa de riesgo central de la clase puede ser estimada como:

$$h(t) = \frac{F}{AvW}$$

W: es el ancho de clase, es decir es la unidad de intervalo de estudio

Av: es el número promedio de un ítem de un intervalo

$$Av = \frac{A + (A - F - C)}{2}$$

Donde:

A: es el número de ítems operativos al inicio del intervalo

F: es el número de fallas en el intervalo

C: es el número de suspensiones en el intervalo

La función distribución acumulativa puede ser estimado por:

$$F(t) = 1 - \exp(-H(t))$$

La función acumulativa de riesgo se puede estimar como:

$$H(t) = \sum h(t).W$$

Un ejemplo de este tipo de grupo de datos lo tenemos a continuación, el siguiente cuadro se presenta el reporte de fallas de la bomba de inyección (inyección de agua tratada para incrementar la producción de los pozos) marca Bingham. El mencionado cuadro tiene como fecha Julio del año 2006.

Tabla 5.2 Registro de Fallas de la bomba Bingham – Julio 2006

Item	Id Equipo	Fecha de parada	Motivo de parada (Descripción de Detención)
1	P-103A/B	04/07/2006	Corte de energía por falla en F-3.
2	P-103A/B	05/07/2006	Prueba de tarjeta reparada.
3	P-103A/B	05/07/2006	Reparación de línea de inyección.
4	P-103A/B	06/07/2006	Reparación de línea de inyección.
5	P-103A/B	10/07/2006	Reparación de línea de inyección.
6	P-103A/B	12/07/2006	Reparación de línea de inyección.
7	P-103A/B	16/07/2006	Reparación de línea de inyección.
8	P-103A/B	22/07/2006	Reparación de línea de inyección.
9	P-103A/B	23/07/2006	Chequeo de vortex de inyección.
10	P-103A/B	24/07/2006	Reparación de línea de inyección.
11	P-103A/B	28/07/2006	Reparación de línea de inyección.
12	P-103A/B	30/07/2006	Reparación de línea de inyección.

La columna ítem indica P-103 A/B, esto se debe, como en toda instalación, que existe dos bombas. La bomba de operación P-103 A y la bomba de backup (respaldo) P-103 B.

Como se observa la única falla registrada en la bomba es la registrada el 05 de Julio por prueba de “tarjeta reparada”, y en donde los demás ítems son suspensiones. Con el registro de eventos actual no se podría estimar el valor de confiabilidad, ya que para dicho cálculo es necesario un historial de fallas.

## 5.6 INDICADORES DE MANTENIMIENTO

En el área de mantenimiento se establecen indicadores que nos dan referencia del desenvolvimiento del equipo. Gracias a estos indicadores podemos establecer la eficiencia y eficacia de los trabajos realizados, y además establecer la economía que ello representa. Para ello recurriremos al siguiente grafico ilustrativo, que nos ayudara a entender mejor los indicadores de mantenimiento.

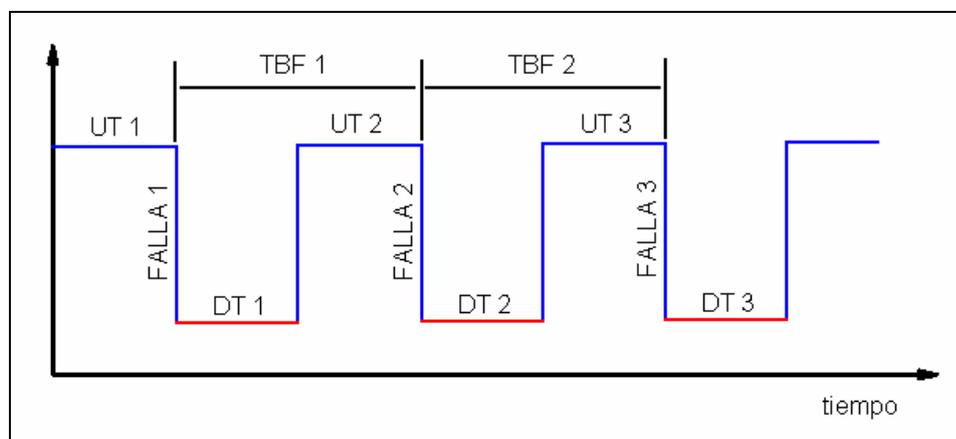


Gráfico 5.5 Registro de Funcionamiento de un Equipo

donde:

UT: up time

DT: down time

TBF: time between failures

Tanto en la literatura utilizada como en los reportes de fallas se acostumbra mencionar los indicadores de Mantenimiento en el idioma inglés.

- Mean Time Between Failures (Tiempo Medio Entre Fallas)

$$MTBF = \sum_{i=1}^n \frac{TBF_i}{\# \text{ failures}}$$

- Mean Up Time (Tiempo Medio de Funcionamiento)

$$MUT = \sum_{i=1}^n \frac{UT_i}{\# \text{ failures}}$$

- Mean Down Time (Tiempo Medio de Paro)

$$MDT = \sum_{i=1}^n \frac{DT_i}{\# \text{ failures}}$$

- Availability (Disponibilidad)

$$A_o = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

## **CAPÍTULO VI**

### **APLICACIÓN A EQUIPOS MOTOCOMPRESORES DE GAS NATURAL**

#### **6.1 CONSIDERACIONES**

Las consideraciones adoptadas para la estimación de la confiabilidad mediante de Análisis de Weibull fueron las siguientes:

- Las unidades de compresión (Motocompresor) de las diferentes Estaciones tienen sus propias características de Operación y Mantenimiento, es por ello que la estimación de la confiabilidad es independiente entre cada uno de ellos.
- Actualmente se cuenta con un Registro de Paros entregado por Skanska, que tiene a su cargo el servicio de Operación y Mantenimiento del Sistema de Compresión de Gas del Lote X, y esta es la base de datos para el presente estudio.
- El compresor “Gemini” (Estación Zapotal 04) no es considerado en el presente estudio, ya que aun no entra en operación.
- Los Motocompresores no tienen equipo de respaldo (back up), razón por la cual es importante la observación de su funcionamiento.

- Para el presente estudio se toma como referencia la data disponible reciente, ya que nos da una idea mas exacta de las fallas ocurridas, y para ello se toma los datos de los seis meses anteriores antes de inicio del estudio, es decir, tomaremos los datos de Julio a Noviembre del 2006 dependiendo del equipo.

Para el presente estudio, se procederá a seleccionar los compresores con mayor número de registro de paros (incluidos paros por falla y paros por suspensión). Para ello se ha utilizado el Análisis de Pareto, el cual se muestra a continuación:

Tabla 6.1 Registro de Fallas Totales de Motocompresores

EQUIPO	UBIC. DE EQUIPO	N° DE PAROS	TOTAL (%)	ACUMULADO
A	C1-ETA27	45	10,95	10,95
B	C2-ETA29	43	10,46	21,41
C	C7-EPN30	35	8,52	29,93
D	C3-ELA06	32	7,79	37,71
E	C3-ETA28	26	6,33	44,04
F	C1-ECA20	24	5,84	49,88
G	C2-ETA27	22	5,35	55,23
H	C3-ETA29	20	4,87	60,10
I	C2-ETA28	20	4,87	64,96
J	C2-ECA22	18	4,38	69,34
K	C4-ECA22	18	4,38	73,72
L	C1-EPN30	15	3,65	77,37
M	C4-ETA29	15	3,65	81,02
N	C2-ECA18	14	3,41	84,43
O	C3-ECA22	13	3,16	87,59
P	C5-EPN30	12	2,92	90,51
Q	C1-ETA28	12	2,92	93,43
R	C6-EPN30	10	2,43	95,86
S	C4-EPN30	8	1,95	97,81
T	C1-ELA06	7	1,70	99,51
U	C2-EPN30	2	0,49	100,00
	TOTAL	411	100	

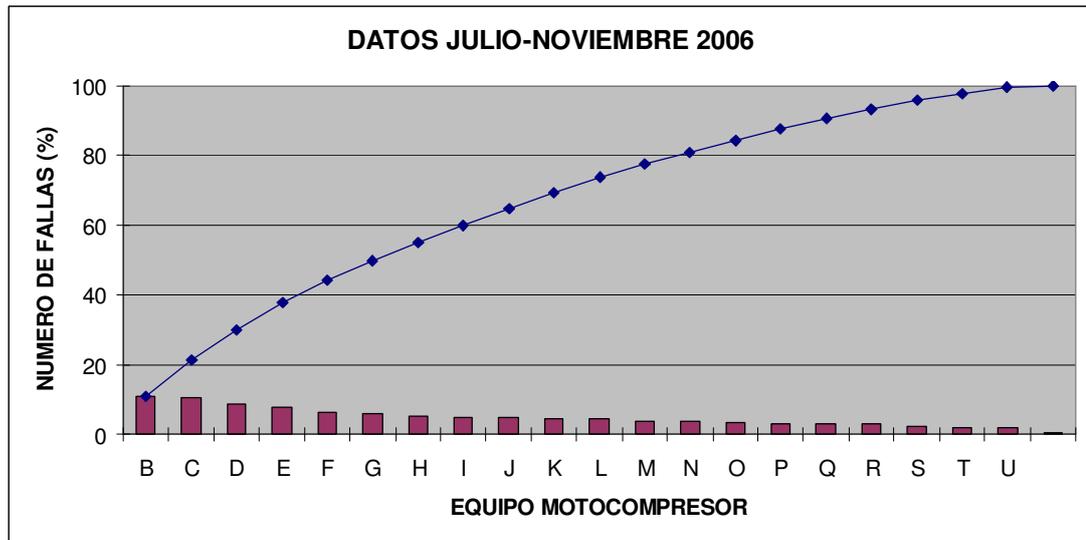


Grafico 6.1 Diagrama de Pareto – Registro de Fallas Totales

El principio de Pareto indica que de un grupo de elementos que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son los responsables de la mayor parte de dicho efecto. Pero en este caso vemos que son aproximadamente un poco mas de la mitad que tienen repercusión en el efecto (servicio de compresión de gas en sus diversas aplicaciones ante mencionadas).

En esta diagramación no se ha tomado en cuenta la capacidad de compresión de cada equipo, que en un primer momento se podría pensar que es el aspecto más importante, y en contraparte se ha considerado el impacto que produce el paro por falla.

Según el Diagrama de Pareto los compresores C2-ETA27 y C1-ETA27 con el mayor número de paros en el periodo de Julio a Diciembre del 2006.

## 6.2 UNIDAD DE COMPRESIÓN “C2 – ETA29”

### 6.2.1 Estimación de la Confiabilidad

El compresor se encuentra ubicado en la Estación de Compresión Taiman 29 (ETA-29), y sus datos técnicos se muestran a continuación:

MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	
Marca	Caterpillar
Modelo	G398
Potencia	370 HP
Tipo de Combustible	Gas Natural
RPM	1000
COMPRESOR	
Marca	Ingersoll Rand
Modelo	2 – RDS
Presión de Succión	10 PSIG
Presión de Descarga	430 PSIG

Se consideran las siguientes premisas:

- El mes de Agosto del 2001 se efectuó un “Overhaul” al Motocompresor, razón por la cual es nuestro punto de referencia de los tiempos de falla.
- Según la bitácora de operación se registran actividades consideradas como suspensiones (mantenimientos preventivos, reparaciones mayores, baja venta, reparaciones en gasoductos, problemas de producción, etc.) sin que ello represente necesariamente una falla del equipo, es por ello que el modelo de análisis es el de Fallas con Suspensiones.

Los modos de falla tienen un código asignado según el tipo de falla registrado, referido en la Norma ISO 14224. Esto se indica en la tabla del Anexo 4 Tabla de Modos de Fallas – Compresor C2-ETA29 (2006).

Para aquellos eventos no indicados en la norma y externos al funcionamiento del equipo son considerados suspensiones. Para la estimación del número de orden de cada evento, se considera el tamaño muestral de 43 ( $n = 43$ ), ya que se tiene 40 fallas y 3 suspensiones en el período Julio – Diciembre 2006. El número de orden asignado a cada falla se indica en la tabla del anexo 5.

Para la estimación de los valores de la Función de Distribución Acumulativa (F), se tiene el tamaño muestral mayor a 20, y se considera como formula de cálculo:

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

Según la data disponible, las horas acumuladas desde Agosto del 2001 hasta Julio 2006 es de 23878 horas, y como en el año 2001 se tiene el punto de referencia (Overhaul), este es el valor de  $\gamma$  (*gamma*) para el presente estudio (ver anexo 6).

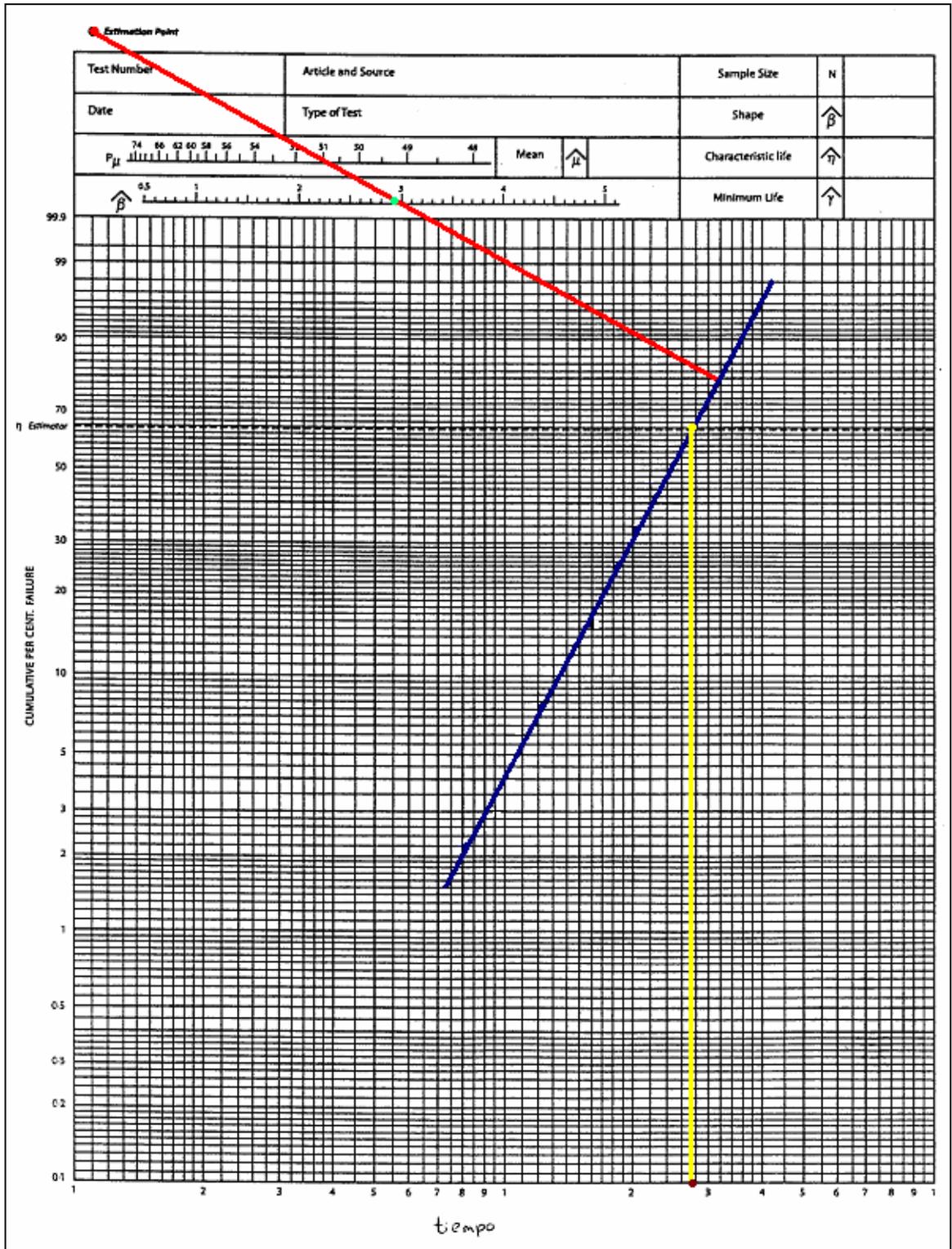


Grafico 6.2 Estimación de parámetros del Compresor C2-ETA29 – Julio a Diciembre 2006

Los parámetros que definen la distribución de Weibull se obtienen de la tabulación de los valores de tiempo de falla (t) y la función de distribución acumulada (F) en el Papel de Weibull (grafico 6.2):

$\beta$ (beta)	2.9
$\eta$ (eta)	2750
$\gamma$ (gamma)	23878

Como se observa el valor de  $\beta$  es 2.9, el cual implica que empieza a presentarse el fenómeno de desgaste en el equipo. La función Distribución de Weibull queda determinada de la siguiente manera:

$$f(t) = \frac{2.9}{2750} \left( \frac{t - 23878}{2750} \right)^{2.9-1} \exp \left( - \left( \frac{t - 23878}{2750} \right)^{2.9} \right)$$

La expresión que define la Confiabilidad es:

$$R(t) = \exp \left( - \left( \frac{t - 23878}{2750} \right)^{2.9} \right)$$

El siguiente cuadro nos muestra como la Confiabilidad decrece rápidamente a lo largo del periodo establecido, y esto es debido a la alta tasa de fallas.

<b>Mes (2006)</b>	<b>Confiabilidad R</b>
Agosto	84.53 %
Septiembre	58.91 %
Octubre	29.52 %
Noviembre	9.9 %
Diciembre	1.9 %

*Indicadores de Mantenimiento*

- Datos de la Primera Falla:
  - Fecha de Parada : 07/08/2006
  - Hora de Parada : 05:30:20
- Datos de la Ultima Falla:
  - Fecha de Parada : 31/10/2007
  - Hora de Parada : 10:00:59
- Datos de Suspensiones:

Total time between failures	10776 horas
Total down time (se considera mantenimiento planificado, baja venta, tareas de limpieza de equipos, reparación de gasoductos)	284 horas
Total up time	10492 horas
Número de fallas	128

- Mean Time Between Failures

$$MTBF = \sum_{i=1}^n \frac{TBFi}{\# failures}$$

$$MTBF = \sum_{i=1}^{128} \frac{10776}{128} = 84horas (3.5 días)$$

- Mean Up Time

$$MUT = \sum_{i=1}^n \frac{UTi}{\# failures}$$

$$MUT = \sum_{i=1}^{128} \frac{10492}{128} = 81horas (3.4 días)$$

- Mean Down Time

$$MDT = \sum_{i=1}^n \frac{DTi}{\# failures}$$

$$MDT = \sum_{i=1}^{128} \frac{284}{128} = 2.2horas$$

- Availability

$$Ao = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

$$Ao = \frac{81}{81 + 2.2} = 97.35\%$$

### **6.2.2 Cuantificación de Pérdidas en la Venta de Gas**

Las pérdidas que se generan cuando uno de los compresores deja de cumplir su función debido a la falla del equipo tiene un costo, este costo se cuantifica tomando en cuenta las siguientes premisas:

- Fecha y hora de paro del equipo
- Fecha y hora del arranque del equipo
- Capacidad real de compresión del equipo
- Precio del gas (US\$/MMPCD)

Por obvias razones no se mostrará el precio unitario del gas de venta a EEP SA, ya que dicha información es de carácter reservado a Petrobras. Las pérdidas del Motocompresor en el periodo de estudio fueron de 14 180 dólares (anexo 7).

### **6.2.3 Mejoramiento de la Tasa de Fallas**

Luego de cuantificar las pérdidas y de estimar la confiabilidad se tomó medidas para tratar de reducir la tasa de fallas, para ello el Diagrama de Pareto nos indica el tipo de falla más recurrente en el Motocompresor:

Tabla 6.2 Registro de Motivo de Fallas C2-ETA29 – 2006

<b>ITEM</b>	<b>MOTIVO</b>	<b>N° DE EVENTOS</b>	<b>TOTAL (%)</b>
A	ALTA TEMPERATURA DE REFRIGERANTE	31	81,58
B	ALTA PRESION DE DESCARGA	3	89,47
C	ALTA TEMPERATURA GAS CILINDROS	2	94,74
D	PARADO POR CULATA RAJADA.	1	97,37
E	REEMPLAZO DE BOMBA DE AGUA	1	100,00

Gráficamente lo podemos representar de la siguiente manera:

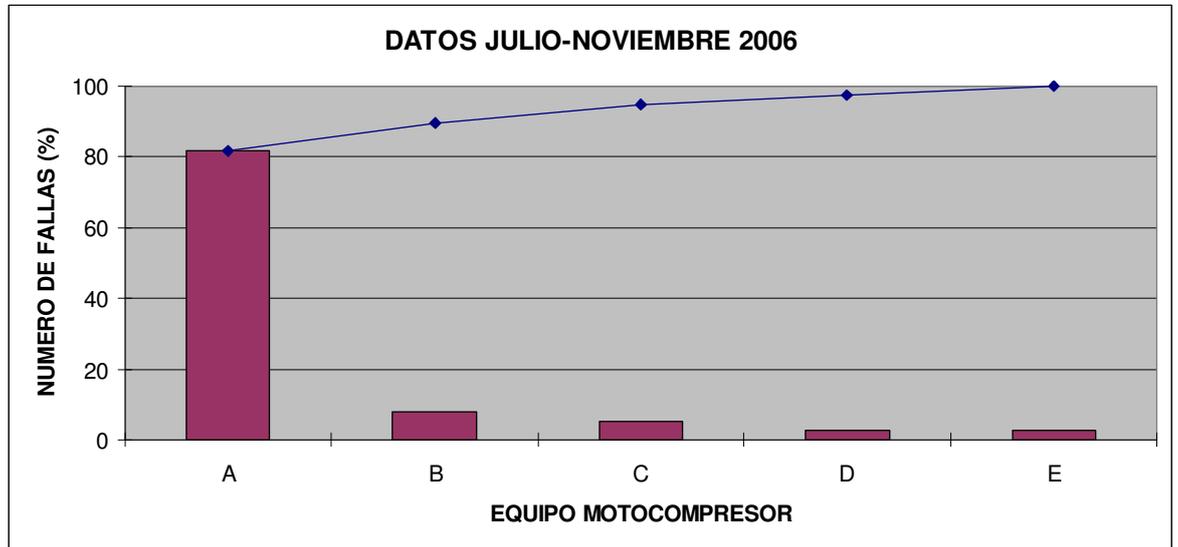


Gráfico 6.3 Diagrama de Pareto – Registro de Motivo de Fallas (2006)

El gráfico anterior muestra claramente el principal motivo de falla, corregido la misma se vuelve a estimar la confiabilidad del equipo, así como los costos que representa el paro del equipo en la venta de gas.

Los datos de falla están en referencia a la clasificación de la norma ISO 14224 para los motivos de falla, esto se indica en anexo 8.

Para la nueva estimación de valores que definen la distribución de Weibull, se toma el mismo intervalo de tiempo, es decir, de Julio a Diciembre del 2007. Y el modelo de análisis también corresponde al de Fallas con Suspensiones.

Para la estimación del número de orden de cada evento, se considera el tamaño muestral 12 ( $n = 12$ ), 9 fallas y 3 suspensiones, en el periodo de Julio a Diciembre 2007. El número asignado a cada se indica en el anexo 9.

Los valores de la Función de Distribución Acumulativa (F) toma en cuenta el tamaño muestral (fallas y suspensiones), el cual es 12, y hace uso de la tabla de Rango Medio.

Los parámetros que definen la distribución de Weibull se obtienen de la tabulación de los valores de tiempo de falla ( $t$ ) y la función de distribución acumulada F (ver anexo 10):

$\beta$ (beta)	1.1
$\eta$ (eta)	1250
$\gamma$ (gamma)	32638

Como se observa el valor de  $\beta$  es 1.1, entonces el equipo se desenvuelve dentro del región de vida útil, y tiene como característica la aproximación a una tasa de fallas constante. La función Distribución de Weibull queda determinada de la siguiente manera:

$$f(t) = \frac{1.1}{1250} \left( \frac{t - 32638}{1250} \right)^{1.1-1} \exp \left( - \left( \frac{t - 32638}{1250} \right)^{1.1} \right)$$



La expresión que define la Confiabilidad es:

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t - 32638}{1250}\right)^{1.1}\right)$$

El siguiente cuadro nos indica como la confiabilidad sigue disminuyendo.

<b>Mes (2006)</b>	<b>Confiabilidad R</b>
Agosto	36 %
Septiembre	22 %
Octubre	12.2 %
Noviembre	6.7 %
Diciembre	3.3 %

La confiabilidad decrece rápidamente a lo largo del periodo de estudio, y se debe a que el equipo no ha sufrido un mantenimiento de acuerdo con las características actuales de funcionamiento. Como consecuencia de ello se podría programar un mantenimiento mayor (Overhaul) al Motocompresor en estudio.

#### *Indicadores de Mantenimiento*

- Datos de la Primera Falla:

Fecha de Parada : 04/07/2007

Hora de Parada : 00:30:41

- Datos de la Última Falla:

Fecha de Parada : 31/08/2007

Hora de Parada : 10:00:59

- Datos de Suspensiones:

Total time between failures	1370 horas
Total down time (se considera mantenimiento planificado, baja venta, tareas de limpieza de equipos, reparación de gasoductos)	49.6 horas
Total up time	1320.4 horas
Número de fallas	9

- Mean Time Between Failures

$$MTBF = \sum_{i=1}^n \frac{TBF_i}{\# \text{ failures}}$$

$$MTBF = \sum_{i=1}^{128} \frac{1370}{9} = 152.2 \text{ horas (6 días)}$$

- Mean Up Time

$$MUT = \sum_{i=1}^n \frac{UT_i}{\# \text{ failures}}$$

$$MUT = \sum_{i=1}^{128} \frac{1320.4}{9} = 146.7 \text{ horas (6 días)}$$

- Mean Down Time

$$MDT = \sum_{i=1}^n \frac{DT_i}{\# \text{ failures}}$$

$$MDT = \sum_{i=1}^{128} \frac{49.6}{9} = 5.5 \text{ horas}$$

- Availability

$$Ao = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

$$Ao = \frac{146.7}{146.7 + 5.5} = 96.38\%$$

#### **6.2.4 Cuantificación de Perdidas en la Venta de Gas**

La nueva cuantificación de las nuevas perdidas tiene la misma connotación que el cálculo anterior (anexo 11).

Las pérdidas suman en este periodo US\$ 2 189 dólares. Como se observa se ha disminuido significativamente las perdidas por dejar de enviar gas natural, pero no ha ocurrido lo mismo con los valores de confiabilidad.

A pesar de los trabajos de mantenimiento correctivo, el desenvolvimiento de la confiabilidad ha seguido decreciendo por las razones antes mencionadas. Esto se indica mejor en el siguiente cuadro comparativo.

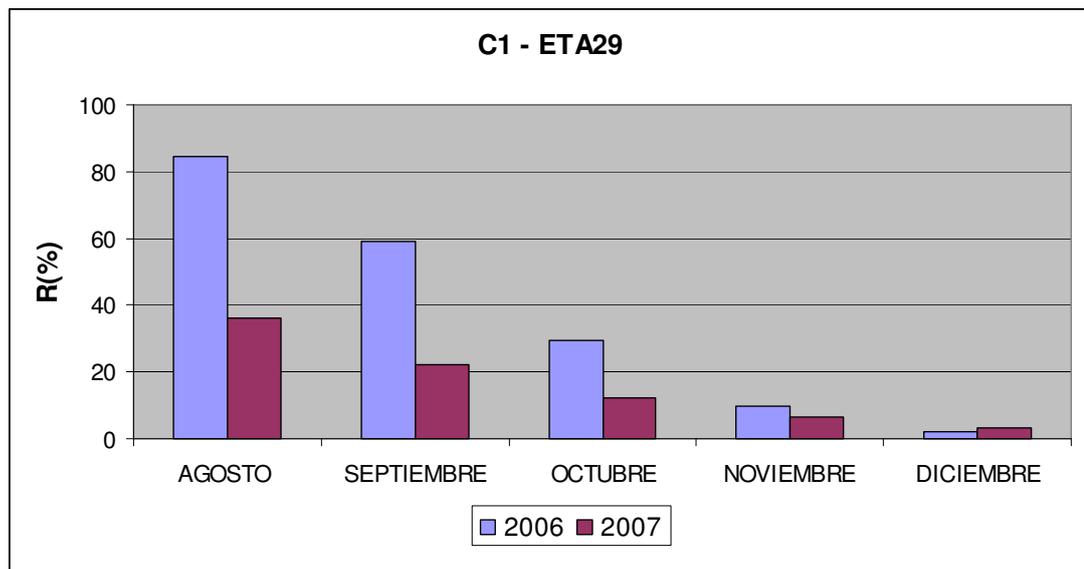


Grafico 6.5 Comparación Evolutiva de la Confiabilidad

Es importante comparar el mismo periodo (segundo semestre del año) ya que en esta temporada las centrales hidroeléctricas no abastecen la demanda eléctrica, razón por la cual entra con mayor operación la central térmica de Piura.

## **6.3 UNIDAD DE COMPRESIÓN “C1 – ETA27”**

### **6.3.1 Estado Situacional del Equipo**

El equipo en mención tiene programado un mantenimiento mayor “Overhaul” en los meses de Marzo a Mayo (2007), y como en el caso anterior, este mantenimiento es nuestro punto de referencia para la estimación de la confiabilidad.

Para tener una mejor idea de cómo el equipo se está desarrollando, se tiene el Registro de Paros del último semestre antes de la realización del mantenimiento y los costos que ello representa. La tabla de fallas se puede observar en el anexo 12, y en donde se registro 68 eventos de falla y un evento de suspensión, lo cual indica un alto índice de tasa de fallas.

Los costos por paro del motocompresor se muestran en el anexo 13, los cuales suman aproximadamente US\$ 10 000, por dejar de comprimir gas a EEPSA.

### **6.3.2 Estimación de la Confiabilidad**

Para estimar la Confiabilidad consideraremos un punto de referencia para el inicio del análisis, dicho punto será la reparación general al equipo por mantenimiento (Overhaul). Este tipo de mantenimiento “regresa” al equipo a Condición Básica, es decir, el equipo vuelve a sus parámetros originales de operación.

El compresor se encuentra ubicado en la Estación de Compresión Taiman 27 (ETA-27), y sus datos técnicos se muestran a continuación:

MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	
Marca	Caterpillar
Modelo	G398
Potencia	370 HP
Tipo de Combustible	Gas Natural
RPM	1000
COMPRESOR	
Marca	Ingersoll Rand
Modelo	2 – RDS
Presión de Succión	10 PSIG
Presión de Descarga	430 PSIG
Inicio de Operaciones	1974

Al equipo Motocompresor C1-ETA27 se toma como ejemplo para medir el desempeño después del mantenimiento mayor (Overhaul), el cual en teoría no debe fallar.

Se consideran las siguientes premisas:

- El equipo ha tenido un mantenimiento Overhaul, tanto al motor como al compresor, entre los días 26.03.07 y 22.05.07, razón por la cual se toma como referencia el inicio de análisis el 22 de Mayo. A partir de esta fecha se contabilizará el tiempo para la ocurrencia del evento falla.

- De acuerdo con el punto anterior, se considera la bitácora de Operación y Mantenimiento entre los meses de Junio y Noviembre 2007 como intervalo de tiempo de estudio para la estimación de la Confiabilidad.
- Se registran diversas actividades consideradas como suspensiones (mantenimientos preventivos, baja venta, reparaciones en gasoductos, problemas de producción, etc.) sin que ello represente necesariamente una falla del equipo, es por ello que el modelo de Análisis es el de Fallas con Suspensiones.

Las tablas de datos de los Modos de Falla se muestran en el anexo 14. Para el cálculo del número de orden asignado a cada evento de falla se hace uso de la siguiente expresión:

$$m_i = m_{i-1} + \frac{(n+1-m_{i-1})}{1+k_i}$$

Para el equipo se tiene un número total de 45 eventos, por lo que el valor de  $n = 45$ . Así, por ejemplo, para la falla 11 el número de falla anterior es 10, es decir,  $m_{i-1} = 10$ . El valor de  $k_i = n - \text{número de eventos totales anteriores}$ , para nuestro caso el número de eventos anteriores totales (fallas y suspensiones) es igual a 12. Entonces el valor de  $k_i = 45 - 12$ ,  $k_i = 33$ .

Reemplazando en la expresión original, se tiene:

$$m_i = 10 + \frac{(45 + 1 - 10)}{1 + 33} = 11.06$$

Para el resto de los números de orden están en la tabla cálculo de número de orden, anexo 15.

El cálculo de los valores de la función de distribución acumulada se procede de la siguiente manera, como el número de eventos (tamaño muestral) es mayor a 20, se utiliza la expresión:

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

Por ejemplo, para la primera falla ( $i = 1$ ), se tiene en la expresión:

$$F(1) = \frac{1 - 0.3}{45 + 0.4} = 1.54\%$$

El anexo 16 muestra la tabla con todos los valores calculados de la función de distribución acumulada, según el ítem que corresponde a la falla.

Esta misma tabla muestra el tiempo de falla, es decir, desde el 22 de mayo, que entra nuevamente en operación el Motocompresor, hasta la primera falla, 25 de Mayo, han transcurrido 57 horas, y así sucesivamente se tiene los tiempos de falla para cada evento.

El paso siguiente es llevar al papel de Weibull los parámetros de tiempo de falla y los valores de la función de distribución. Según el gráfico se tiene los siguientes parámetros que definen la distribución de Weibull:

$\beta$ (beta)	0.97
$\eta$ (eta)	2100
$\gamma$ (gamma)	0

Como se puede observar, el valor  $\beta$  es próximo a la unidad, esto nos indica que el equipo se encuentra en la región de vida útil (Región II), y que la tasa de fallas es uniforme. La función Distribución de Weibull queda determinada de la siguiente manera:

$$f(t) = \frac{0.97}{2100} \left( \frac{t}{2100} \right)^{0.97-1} \exp \left( - \left( \frac{t}{2100} \right)^{0.97} \right)$$

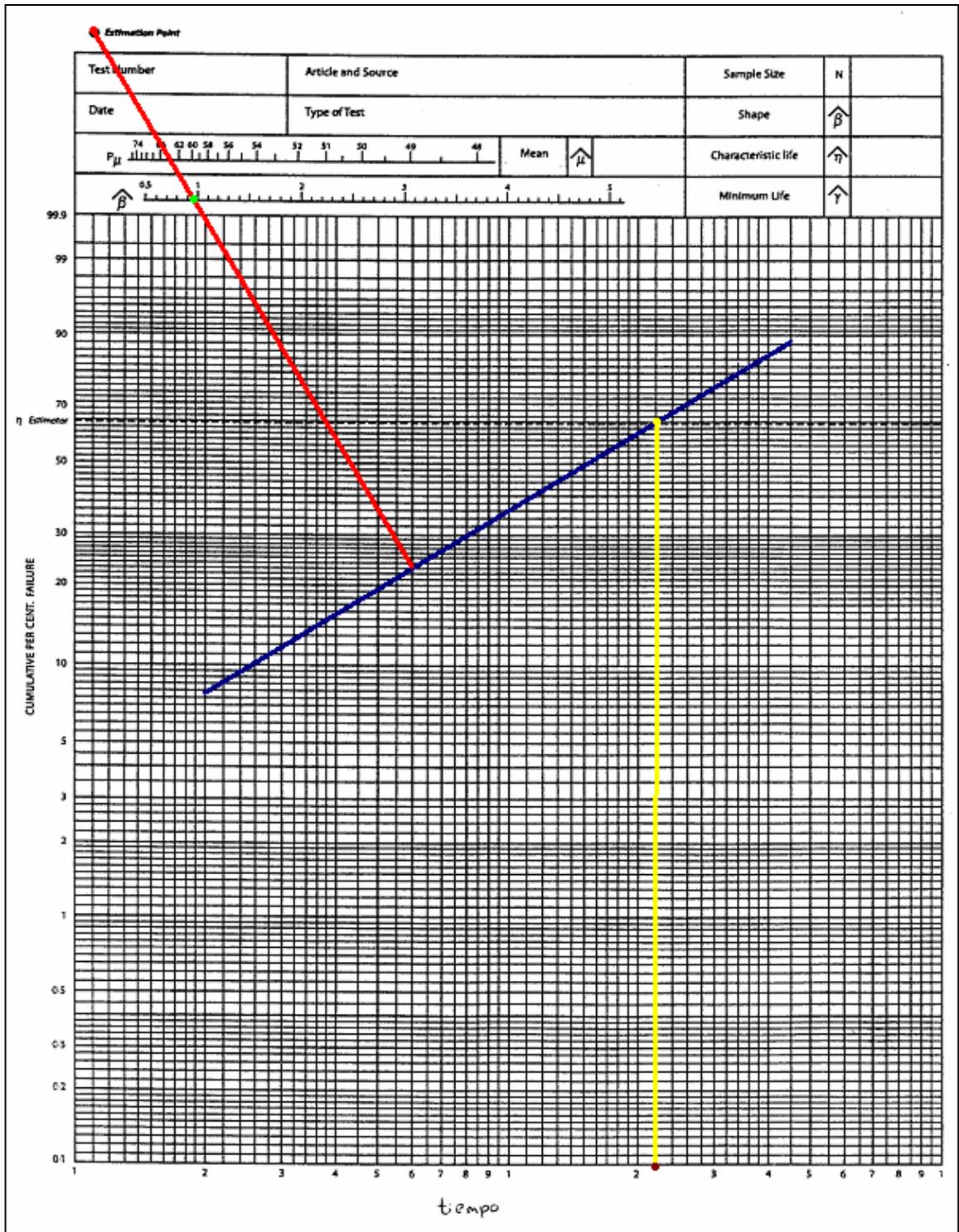


Grafico 6.6 Estimación de parámetros del Compresor C1-ETA27 – Junio a Noviembre 2007

La expresión que define la Confiabilidad es:

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{2100}\right)^{0.97}\right)$$

Podemos estimar la Confiabilidad desde el inicio de las operaciones, del 22.05.07 al 11.11.07, para tener una estimación del desempeño del compresor C1-ETA27 en ese periodo.

El tiempo de operación transcurrido hasta el mes de Junio es 936 horas (39 días). Reemplazando en la expresión anterior se tiene:

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{936}{2100}\right)^{0.97}\right) = 63.67\%$$

La confiabilidad estimada al final del intervalo de estudio (Noviembre 2007) es:

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{4135}{2100}\right)^{0.97}\right) = 15.14\%$$

Se ha estimado como la Confiabilidad de deservuelve a lo largo de lo siguientes seis meses, el se muestra en el siguiente gráfico:

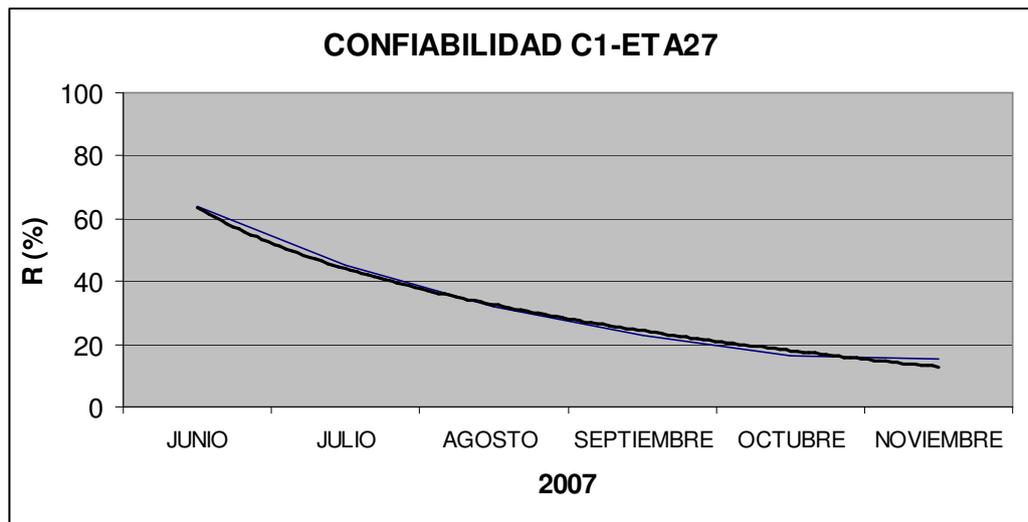


Grafico 6.7 Confiabilidad C1-ETA27

### **6.3.3 Cuantificación de Pérdidas en la Venta de Gas**

Las pérdidas que se generan cuando uno de los compresores para debido a la falla del equipo tiene un costo, este costo toma se cuantifica tomando en cuenta las siguientes premisas:

- Fecha y hora de paro del equipo
- Fecha y hora del arranque del equipo
- Capacidad real de compresión del equipo
- Precio del gas (US\$/MMPCD)

Las pérdidas en el Motocompresor en el periodo de estudio fueron de US\$ 5000 dólares (anexo 17).

Si bien es cierto que los costos por dejar de comprimir gas natural ha disminuido, eso no refleja en lo que debería ser teóricamente el desempeño del equipo ya que el compresor ha pasado por un “Overhaul” y no justifica el alto índice de fallas.

#### **6.3.4 Comparación con los Estándares Internacionales**

Uno de los estándares de operación de los equipos en la industria del petróleo es el Handbook OREDA, el cual establece parámetros de operatividad cuando la tasa de fallas es constante.

Una referencia de comparación de los valores de Confiabilidad de Motocompresores (motor a gas natural y compresor reciprocante) es la tasa de falla, que debería ser  $427 \times 10^{-6}$ . Según este valor y los parámetros estimados anteriormente se establece la siguiente relación de comparación de Confiabilidad:

$$\text{Tasa de falla estadística} = h(t) = 427 \times 10^{-6}$$

Se tiene la siguiente relación:  $h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$ , y se obtiene el valor

del tiempo en cual define la Confiabilidad para el equipo.

$$427 \times 10^{-6} = \frac{0.97}{2100} \left( \frac{t}{2100} \right)^{0.97-1}$$

$$t = 7271.29 \text{ horas}$$

Con el régimen promedio de fallas del semestre en estudio, el equipo cumplirá con los promedios internacionales de tasa de fallas hasta transcurridas las 7271 horas. Esto es aproximadamente diez meses de mantener una tasa de fallas constante, al término de los cuales la tasa de fallas se incrementará por las razones mencionadas anteriormente.

#### *Indicadores de Mantenimiento*

- Datos de la Primera Falla:

Fecha de Parada : 25/05/2007

Hora de Parada : 09:00:24

- Datos de la Ultima Falla:

Fecha de Parada : 30/10/2007

Hora de Parada : 15:00:44

- Datos de Suspensiones:

Total time between failures	3798 horas
Total down time (se considera mantenimiento planificado, baja venta, tareas de limpieza de equipos, reparación de gasoductos)	68 horas
Total up time	3730 horas
Número de fallas	41

- Mean Time Between Failures

$$MTBF = \sum_{i=1}^n \frac{TBF_i}{\# \text{ failures}}$$

$$MTBF = \sum_{i=1}^{43} \frac{3798}{41} = 92.6 \text{ horas (3.9 días)}$$

- Mean Up Time

$$MUT = \sum_{i=1}^n \frac{UT_i}{\# \text{ failures}}$$

$$MUT = \sum_{i=1}^{43} \frac{3730}{41} = 90.9 \text{ horas (3.9 días)}$$

- Mean Down Time

$$MDT = \sum_{i=1}^n \frac{DT_i}{\# \text{ failures}}$$

$$MDT = \sum_{i=1}^{43} \frac{53}{41} = 1.2 \text{ horas}$$

- Availability

$$Ao = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

$$Ao = \frac{90.9}{90.9 + 1.2} = 98.69\%$$

## CONCLUSIONES

1. La herramienta “Análisis de Weibull para la Estimación de la Confiabilidad” es de aplicación directa a los equipos dinámicos del Lote X.
2. Con el valor estimado de Confiabilidad se podrá ubicar en una de las regiones de la “Curva de la Bañera” a los compresores y demás equipos rotativos del Lote X.
3. Según el punto anterior, el parámetro  $\beta$  nos servirá para verificar, replantear, mejorar los procedimientos, técnicas y planes de mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo.
4. Para obtener resultados confiables mediante el Análisis de Weibull es necesario tener una consistente base de datos en el cual se registre la fecha y hora de falla (paro), la fecha y hora del reinicio de las operaciones (arranque), motivo y descripción de falla.

5. La asignación de un código a cada evento de falla, referidos en la norma ISO 14224 y en la Táctica de Confiabilidad de Petrobras, facilitan la identificación de modo de falla.
  
6. Se da cumplimiento a la directriz N° 5 de Petrobrás, referido a la optimización de la gestión de Confiabilidad en Equipos.

## **RECOMENDACIONES**

1. Conformar un equipo de trabajo (Petrobras – Skanska) para plantear soluciones inmediatas con el fin de mejorar los planes de mantenimientos.
2. Tener un mayor control sobre las labores de mantenimientos con el objetivo que estos tengan un mayor impacto en el funcionamiento del equipo.
3. Realizar una descripción más amplia en los modos de falla para un mejor alcance en la identificación de la causa de falla.
4. El modo de falla “alta temperatura de agua refrigerante” tiene diversas causas, entre las principales podemos mencionar tubos aleteados en mal estado, mala calidad del agua refrigerante, tuberías obstruidas, etc. Todos estos factores son tomando en cuenta las condiciones ambientales de la costa norte del Perú.

5. Para tener un mejor análisis de las causas de los modos de falla se recomienda utilizar diversas herramientas de análisis como un ACR o MCC.
  
6. Para tener una mayor aproximación en la confiabilidad, realizar la estimación tomando como referencia los Mantenimientos Mayores, esto con el fin de llevar un control del desempeño del equipo después del mantenimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Maintenance, Replacement and Reliability. Theory and Applications**  
Jardine Andrew  
Editorial Taylor & Francis Group. USA  
2006
- **Fiabilidad**  
Nachlas Joel A.  
Editorial Forma. España  
2005
- **Ingeniería de Confiabilidad y Análisis de Probabilístico de Riesgo**  
Medardo Yáñez Medina  
Venezuela  
2003
- **Mantenimiento. Su Implementación y Gestión**  
Leandro Torres  
Editorial Universitas. Argentina.  
2005
- **Reliability Engineering**  
R. Ramakumar  
Editorial Prentice Hall. USA  
1996
- **ISO 14224**  
Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries – Collection and Exchanges of Reliability and Maintenance Data for Equipment.

- **OREDA. Off Shore Reliability Data**  
Editorial Det Norke Veritas. Noruega  
2002
- **Root Cause Failure Analysis**  
Mobley Keith  
Editorial Butterworth-Heinemann. USA  
1999
- **Registro de Fallas del Servicio de Operación y Mantenimiento**  
Skanska. Operaciones Lote X – Talara  
2006 - 2007

## **GLOSARIO**

- **Mantenimiento**

Actividades realizadas con el fin de conseguir el mayor nivel funcionamiento de un sistema o equipo tomando en cuenta la seguridad del personal.

- **Mantenibilidad**

Es la probabilidad de reparación de un equipo o sistema a su condición de operación en un tiempo dado y conforme a los procedimientos establecidos.

- **Disponibilidad**

Tiempo durante el cual el equipo estuvo en condiciones de ser usado.

- **Overhaul**

Actividades de mantenimiento realizadas a un equipo luego de las cuales el equipo funciona a condiciones básicas, es decir, a condiciones de fábrica.

- **Tamaño Muestral**

Número de eventos ocurridos tomados en un intervalo de tiempo para ser analizados y procesados.

- **O.R.O.**

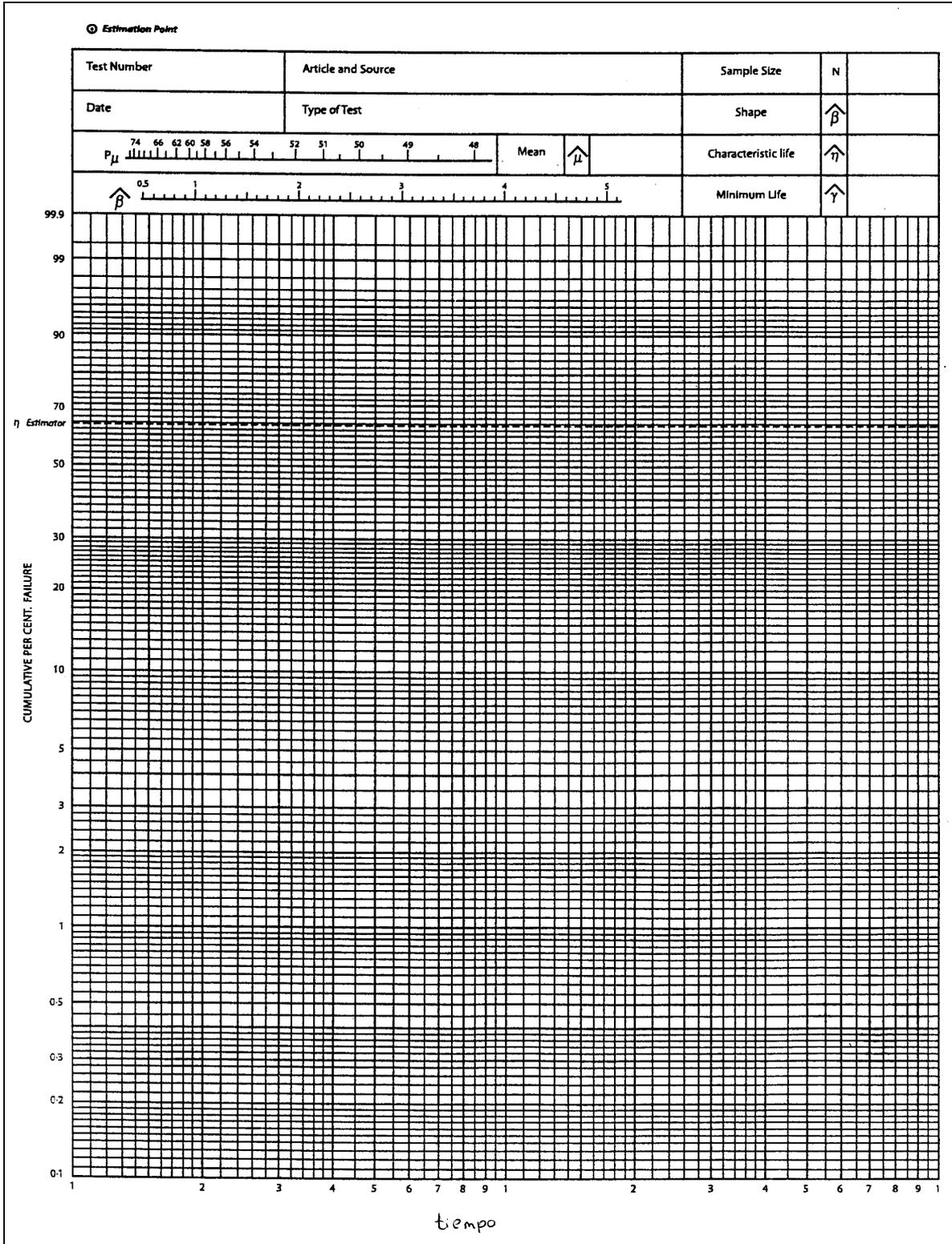
Etapas dentro del proceso (dentro de Petrobras) para la mejora continua y las buenas prácticas. El término significa Optimización de Recursos Operacionales.

## Falla

- Según Norma ISO 14224, una falla es la incapacidad de un elemento para realizar la función requerida.
- Según OREDA 2002 (Off Shore Reliability Data), es la terminación o degradación de la habilidad de un elemento para realizar una función requerida.

## **ANEXO**

# Anexo 1. Papel de Weibull.



## Anexo 2. Tabla de Modos de Fallas según la norma ISO 14224

Código	Definición	Descripción
AIR	Lectura anormal de instrumento	Medición imposible, falsas alarmas
AOH	Salida anormal - alta	Tendencia a la falla funcional como alta tensión de salida
AOL	Salida anormal - baja	Tendencia a la falla funcional como baja tensión de salida
BRD	Rotura	Daño serio (pérdidas, explosión)
DOP	Retardo en la operación	Tiempo de maniobra fuera de especificación
ELF	Pérdida externa, combustible	Perdida de combustible líquido o gaseoso
ELP	Pérdida de proceso al medio	Escape del proceso al medio ambiente
ELU	Pérdida externa de líquido auxiliar	Pérdida de agua, aceite, otros
ERO	Salida errática	Salida con oscilaciones o cambios repentinos
FCH	Falla al cambiar de combustible	Para turbinas duales: falla al cambiar de fuel a gas o viceversa
FOF	Falla en la frecuencia de salida	
FOV	Falla en la tensión de salida	
FTC	Falla al cerrar la demanda	Permanece abierta y falla al cierre total
FTF	Falla funcional en demanda	Falla a activar salida funcional
FTO	Falla a abrir en demanda	Permanece cerrada y falla a apertura total
FTR	Falla a regular	Válvula "clavada" (solo para válvulas de control)
FTS	Falla a arrancar según demanda	Indisponibilidad para arrancar
HIO	Salida muy alta	Sobre velocidad, fuera de especificación
HIU	Salida alta, lectura desconocida	
INL	Pérdida interna	Perdida interna de agua por ejemplo
LCP	Pérdida en posición cerrada	Perdida a través de la válvula de posición de cerrado
LOO	Salida muy baja	Salida fuera de la especificación requerida
LOU	Baja salida, lectura desconocida	
NOI	Ruido	Excesivo ruido
NOO	Sin salida	
OHE	Sobrecalentamiento	Excesiva temperatura
OTH	Otros	Problemas no especificados
OWD	Operación sin demanda	Arranque no deseado
PDE	Desviación de algún parámetro	Desviación de un parámetro fuera de lo establecido
PLU	Restricción de flujo	Cualquier tipo de taponamiento que restrinja el flujo
SER	Problemas menores en servicio	Pérdidas, suciedad, decoloración
SHH	Falsa alarma de alto nivel	
SLL	Falsa alarma de bajo nivel	
SPS	Paro inesperado	Paro no programado de la maquina
STD	Deficiencia estructural	Roturas en cabezas de cilindro, soportes
STP	Falla a detener la marcha según demanda	Indisponibilidad para detenerse o manejar procesos de paro
SYN	Falla de sincronismo	Imposibilidad de sincronizar el generador
UNK	Desconocido	Información inadecuada, perdida
VIB	Vibración	Excesiva vibración
VLO	Muy baja salida	



**Anexo 4. Modos de Fallas “C2-ETA29” (2006)**

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>MOTIVO</b>	<b>CODIGO ISO</b>
SUSPENSION	17/07/2006	BAJA SUCCION	
SUSPENSION	05/08/2006	REPARACION DE GASODUCTO	
FALLA 1	07/08/2006	REEMPLAZO DE BOMBA DE AGUA	FTF
FALLA 2	09/09/2006	PARADO POR TEMPERATURA DE AGUA DEL MOTOR	OHE
FALLA 3	07/10/2006	TEMP. DE AGUA DEL MOTOR.	OHE
FALLA 4	09/10/2006	ELIMINACIÓN DE FUGAS DE ACEITE Y AGUA.	ELU
FALLA 5	11/10/2006	ALTA TEMP. GASES CIL. #1.	OHE
SUSPENSION	11/10/2006	MANTENIMIENTO DE 1500 HORAS.	
FALLA 6	16/10/2006	ALTO PSI DE DESCARGA.	PDE
FALLA 7	27/10/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DEL MOTOR.	OHE
FALLA 8	08/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 9	11/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA DEL MOTOR.	OHE
FALLA 10	11/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA DEL MOTOR.	OHE
FALLA 11	12/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA DEL MOTOR.	OHE
FALLA 12	13/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 13	14/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 14	16/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 15	19/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 16	19/11/2006	PARADO POR TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 17	20/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 18	23/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 19	23/11/2006	PARADO POR TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 20	24/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 21	26/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 22	29/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 23	30/11/2006	PARADO POR TEMP. DE AGUA DEL MOTOR.	OHE
FALLA 24	01/12/2006	PANEL NO MARCO NADA.	SPS
FALLA 25	01/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 26	02/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 27	03/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 28	03/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 29	04/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 30	05/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 31	06/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 32	08/12/2006	PARADO POR TEMP. DEL CIL. #2.	OHE
FALLA 33	09/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 34	12/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 35	13/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 36	14/12/2006	PARADO POR CULATA RAJADA.	BRD
FALLA 37	21/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 38	25/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 39	29/12/2006	PARADO POR ALTA PSI DE DESCARGA.	PDE
FALLA 40	31/12/2006	PARADO POR ALTA PSI DE DESCARGA.	PDE

**Anexo 5. Número de Orden de Falla “C2-ETA29” (2006)**

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>MOTIVO</b>	<b>ORDEN</b>
SUSPENSION	17/07/2006	BAJA SUCCION	
SUSPENSION	05/08/2006	REPARACION DE GASODUCTO	
FALLA 1	07/08/2006	REEMPLAZO DE BOMBA DE AGUA	1
FALLA 2	09/09/2006	PARADO POR TEMPERATURA DE AGUA DEL MOTOR	2
FALLA 3	07/10/2006	TEMP. DE AGUA DEL MOTOR.	3
FALLA 4	09/10/2006	ELIMINACIÓN DE FUGAS DE ACEITE Y AGUA.	4
FALLA 5	11/10/2006	ALTA TEMP. GASES CIL. #1.	5
SUSPENSION	11/10/2006	MANTENIMIENTO DE 1500 HORAS.	
FALLA 6	16/10/2006	ALTO PSI DE DESCARGA.	6,08
FALLA 7	27/10/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DEL MOTOR.	7,17
FALLA 8	08/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	8,25
FALLA 9	11/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA DEL MOTOR.	9,33
FALLA 10	11/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA DEL MOTOR.	10,42
FALLA 11	12/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA DEL MOTOR.	11,5
FALLA 12	13/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	12,58
FALLA 13	14/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	13,67
FALLA 14	16/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	14,75
FALLA 15	19/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	15,83
FALLA 16	19/11/2006	PARADO POR TEMP. DE AGUA.	16,92
FALLA 17	20/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	18
FALLA 18	23/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	19,08
FALLA 19	23/11/2006	PARADO POR TEMP. DE AGUA.	20,17
FALLA 20	24/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	21,25
FALLA 21	26/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	22,33
FALLA 22	29/11/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	23,42
FALLA 23	30/11/2006	PARADO POR TEMP. DE AGUA DEL MOTOR.	24,5
FALLA 24	01/12/2006	PANEL NO MARCO NADA.	25,58
FALLA 25	01/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	26,67
FALLA 26	02/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	27,75
FALLA 27	03/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	28,83
FALLA 28	03/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	29,92
FALLA 29	04/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	31
FALLA 30	05/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	32,08
FALLA 31	06/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	33,17
FALLA 32	08/12/2006	PARADO POR TEMP. DEL CIL. #2.	34,25
FALLA 33	09/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	35,33
FALLA 34	12/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	36,42
FALLA 35	13/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	37,5
FALLA 36	14/12/2006	PARADO POR CULATA RAJADA.	38,58
FALLA 37	21/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	39,67
FALLA 38	25/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	40,75
FALLA 39	29/12/2006	PARADO POR ALTA PSI DE DESCARGA.	41,83
FALLA 40	31/12/2006	PARADO POR ALTA PSI DE DESCARGA.	42,92

**Anexo 6.** Valores de función de Distribución Acumulada “C2-ETA29” (2006)

FALLA	FECHA	TIEMPO DE FALLA	FUNCIÓN F (%)
SUSPENSION	17/07/2006		
SUSPENSION	05/08/2006		
FALLA 1	07/08/2006	24609	1,61
FALLA 2	09/09/2006	25401	3,92
FALLA 3	07/10/2006	26073	6,22
FALLA 4	09/10/2006	26121	8,53
FALLA 5	11/10/2006	26169	10,83
SUSPENSION	11/10/2006		
FALLA 6	16/10/2006	26289	13,33
FALLA 7	27/10/2006	26553	15,82
FALLA 8	08/11/2006	26841	18,32
FALLA 9	11/11/2006	26913	20,81
FALLA 10	11/11/2006	26916	23,31
FALLA 11	12/11/2006	26937	25,81
FALLA 12	13/11/2006	26961	28,3
FALLA 13	14/11/2006	26985	30,8
FALLA 14	16/11/2006	27033	33,29
FALLA 15	19/11/2006	27105	35,79
FALLA 16	19/11/2006	27108	38,29
FALLA 17	20/11/2006	27129	40,78
FALLA 18	23/11/2006	27201	43,28
FALLA 19	23/11/2006	27205	45,78
FALLA 20	24/11/2006	27225	48,27
FALLA 21	26/11/2006	27273	50,77
FALLA 22	29/11/2006	27345	53,26
FALLA 23	30/11/2006	27369	55,76
FALLA 24	01/12/2006	27393	58,26
FALLA 25	01/12/2006	27411	60,75
FALLA 26	02/12/2006	27417	63,25
FALLA 27	03/12/2006	27441	65,75
FALLA 28	03/12/2006	27448	68,24
FALLA 29	04/12/2006	27465	70,74
FALLA 30	05/12/2006	27489	73,23
FALLA 31	06/12/2006	27513	75,73
FALLA 32	08/12/2006	27561	78,23
FALLA 33	09/12/2006	27585	80,72
FALLA 34	12/12/2006	27657	83,22
FALLA 35	13/12/2006	27681	85,71
FALLA 36	14/12/2006	27705	88,21
FALLA 37	21/12/2006	27873	90,71
FALLA 38	25/12/2006	27929	93,2
FALLA 39	29/12/2006	28065	95,7
FALLA 40	31/12/2006	28113	98,2

**Anexo 7. Cuantificación de Perdidas por Paro “C2-ETA29” (2006)**

<b>Posición del Equipo</b>	<b>Fecha Parada</b>	<b>Hora Parada</b>	<b>Fecha Arranque</b>	<b>Hora Arranque</b>	<b>Capac. Real (MMSCFD)</b>	<b>Pérdidas Venta Gas (US\$)</b>
C2-ETA29	17/07/2006	5:30:20	17/07/2006	9:30:20	0,9	365.2
C2-ETA29	05/08/2006	6:00:37	05/08/2006	9:00:37	0,9	262.7
C2-ETA29	07/08/2006	10:30:33	07/08/2006	16:30:33	0,9	525.3
C2-ETA29	09/09/2006	1:00:54	09/09/2006	5:00:54	0,9	354.3
C2-ETA29	07/10/2006	16:00:01	07/10/2006	17:00:01	0,9	92.3
C2-ETA29	09/10/2006	9:45:59	09/10/2006	11:30:59	0,9	161.5
C2-ETA29	11/10/2006	0:00:08	11/10/2006	2:00:08	0,9	184.5
C2-ETA29	16/10/2006	22:00:26	16/10/2006	23:00:26	0,9	92.3
C2-ETA29	27/10/2006	3:30:15	27/10/2006	4:30:15	0,9	92.3
C2-ETA29	08/11/2006	7:30:13	08/11/2006	9:30:13	0,9	181.3
C2-ETA29	11/11/2006	4:40:44	11/11/2006	5:40:44	0,9	90.6
C2-ETA29	11/11/2006	7:00:03	11/11/2006	17:00:03	0,9	906.4
C2-ETA29	12/11/2006	4:10:42	12/11/2006	5:10:42	0,9	90.6
C2-ETA29	13/11/2006	9:45:29	13/11/2006	11:45:29	0,9	181.3
C2-ETA29	14/11/2006	8:45:37	14/11/2006	10:15:37	0,9	136.0
C2-ETA29	16/11/2006	7:45:35	16/11/2006	9:20:35	0,9	143.2
C2-ETA29	19/11/2006	5:00:09	19/11/2006	6:00:09	0,9	90.6
C2-ETA29	19/11/2006	8:50:00	19/11/2006	11:50:00	0,9	271.9
C2-ETA29	20/11/2006	7:00:03	20/11/2006	9:30:03	0,9	226.6
C2-ETA29	23/11/2006	7:00:29	23/11/2006	9:30:29	0,9	226.6
C2-ETA29	23/11/2006	3:20:46	23/11/2006	4:20:46	0,9	90.6
C2-ETA29	24/11/2006	9:30:29	24/11/2006	11:00:29	0,9	136.0
C2-ETA29	26/11/2006	8:30:56	26/11/2006	9:30:56	0,9	90.6
C2-ETA29	29/11/2006	9:30:03	29/11/2006	10:00:03	0,9	45.3
C2-ETA29	30/11/2006	7:00:53	30/11/2006	10:15:53	0,9	294.6
C2-ETA29	01/12/2006	3:45:41	01/12/2006	5:15:41	0,9	135.0
C2-ETA29	01/12/2006	21:30:11	01/12/2006	22:30:11	0,9	90.0
C2-ETA29	02/12/2006	9:00:40	02/12/2006	10:00:40	0,9	90.0
C2-ETA29	03/12/2006	3:30:25	03/12/2006	4:00:25	0,9	45.0
C2-ETA29	04/12/2006	14:00:47	04/12/2006	15:00:47	0,9	90.0
C2-ETA29	05/12/2006	15:00:23	05/12/2006	16:00:23	0,9	90.0
C2-ETA29	06/12/2006	9:30:10	06/12/2006	10:30:10	0,9	90.0
C2-ETA29	08/12/2006	7:00:58	08/12/2006	9:00:58	0,9	180.0
C2-ETA29	09/12/2006	7:00:47	09/12/2006	10:30:47	0,9	315.0
C2-ETA29	12/12/2006	3:00:27	12/12/2006	4:00:27	0,9	90.0
C2-ETA29	13/12/2006	10:30:48	13/12/2006	11:00:48	0,9	45.0
C2-ETA29	14/12/2006	4:00:25	17/12/2006	10:15:25	0,9	6 980.6
C2-ETA29	21/12/2006	14:00:07	21/12/2006	15:45:07	0,9	157.5
C2-ETA29	25/12/2006	8:00:39	25/12/2006	9:00:39	0,9	90.0
C2-ETA29	29/12/2006	20:00:29	29/12/2006	21:00:29	0,9	90.0
C2-ETA29	31/12/2006	13:00:59	31/12/2006	15:00:59	0,9	180.0
<b>TOTAL</b>						<b>14 090.4</b>

**Anexo 8. Modos de Fallas “C2-ETA29” (2007)**

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>MOTIVO</b>	<b>CODIGO ISO</b>
FALLA 1	04/07/2007	TEMP. DESCARGA 1RA. ETAPA	OHE
FALLA 2	04/07/2007	NIVEL DE AGUA	PDE
SUSPENSION	04/07/2007	PREVENTIVO DE 3000 HORAS	
FALLA 3	12/07/2007	TEMP. AGUA DEL MOTOR	OHE
FALLA 4	13/07/2007	CAMBIAR UNIVERSAL MALA	FTF
FALLA 5	23/07/2007	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA	FTF
FALLA 6	09/08/2007	BAJO NIVEL DE AGUA. RADIADOR ROTO	PDE
FALLA 7	10/08/2007	FUGA DE GAS DEL ENFRIADOR	ELU
FALLA 8	30/08/2007	NIVEL DE ACEITE	PDE
FALLA 9	31/08/2007	NIVEL DE AGUA	PDE
SUSPENSION	20/09/2007	PREVENTIVO DE 1500 HORAS.	
SUSPENSION	31/10/2007	ALTA DESCARGA, REPARACION DE GASODUCTO	

**Anexo 9. Número de Orden de Falla “C2-ETA29” (2007)**

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>MOTIVO</b>	<b>ORDEN</b>
FALLA 1	04/07/2007	TEMP. DESCARGA 1RA. ETAPA	1
FALLA 2	04/07/2007	NIVEL DE AGUA	2
SUSPENSION	04/07/2007	PREVENTIVO DE 3000 HORAS	
FALLA 3	12/07/2007	TEMP. AGUA DEL MOTOR	3,10
FALLA 4	13/07/2007	CAMBIAR UNIVERSAL MALA	4,20
FALLA 5	23/07/2007	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA	5,30
FALLA 6	09/08/2007	BAJO NIVEL DE AGUA. RADIADOR ROTO	6,40
FALLA 7	10/08/2007	FUGA DE GAS DEL ENFRIADOR	7,50
FALLA 8	30/08/2007	NIVEL DE ACEITE	8,60
FALLA 9	31/08/2007	NIVEL DE AGUA	9,70
SUSPENSION	20/09/2007	PREVENTIVO DE 1500 HORAS.	
SUSPENSION	31/10/2007	ALTA DESCARGA, REPARACION DE GASODUCTO	

**Anexo 10. Valores de Función de Distribución Acumulada “C2-ETA29” (2007)**

FALLA	FECHA	TIEMPO DE FALLA	FUNCIÓN F (%)
FALLA 1	04/07/2007	32529	5,613
FALLA 2	04/07/2007	32548	13,598
SUSPENSION	04/07/2007		
FALLA 3	12/07/2007	32730	21,669
FALLA 4	13/07/2007	32746	29,578
FALLA 5	23/07/2007	33001	37,853
FALLA 6	09/08/2007	33397	45,951
FALLA 7	10/08/2007	33431	54,046
FALLA 8	30/08/2007	33908	62,147
FALLA 9	31/08/2007	33929	70,242
SUSPENSION	20/09/2007		
SUSPENSION	31/10/2007		

**Anexo 11. Cuantificación de Perdidas por Paro “C2-ETA29” (2007)**

Posición del Equipo	Fecha Parada	Hora Parada	Fecha Arranque	Hora Arranque	Capac. Real (MMSCFD)	Pérdidas Venta Gas (US\$)
C2-ETA29	04/07/2007	0:30:41	04/07/2007	8:00:41	0,9	647.1
C2-ETA29	04/07/2007	21:15:41	04/07/2007	23:15:41	0,9	172.6
C2-ETA29	12/07/2007	9:06:01	12/07/2007	10:00:01	0,9	86.3
C2-ETA29	13/07/2007	1:35:00	13/07/2007	1:50:00	0,9	21.6
C2-ETA29	23/07/2007	16:55:17	23/07/2007	17:40:17	0,9	64.7
C2-ETA29	09/08/2007	4:00:39	09/08/2007	4:25:39	0,9	43.8
C2-ETA29	10/08/2007	14:00:07	10/08/2007	14:30:07	0,9	43.8
C2-ETA29	30/08/2007	11:50:57	30/08/2007	12:00:57	0,9	17.5
C2-ETA29	31/08/2007	8:45:17	31/08/2007	9:45:17	0,9	87.6
C2-ETA29	31/10/2007	10:00:59	31/10/2007	21:00:59	0,9	1004.6
TOTAL						2189.5

**Anexo 12. Modo de Fallas “C1-ETA27” (2006)**

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>MOTIVO</b>	<b>CODIGO ISO</b>
FALLA 1	10/09/2006	PARADO POR PRESIÓN DE ACEITE.	PDE
FALLA 2	21/09/2006	PARADO POR PRESIÓN DE ACEITE.	PDE
FALLA 3	22/09/2006	CULATA RAJADA, CAMBIO MANIFOLD DE ESCAPE	BRD
FALLA 4	11/10/2006	PARADO POR NIVEL DE TK. DE AGUA	PDE
FALLA 5	17/10/2006	PARADO POR TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 6	19/10/2006	PANEL NO MARCO NADA.	SPS
FALLA 7	25/10/2006	ENCENDIDO MALO. SE CAMBIÓ MAGNETO.	IHT
FALLA 8	28/10/2006	PARADO POR TEMP. DE AGUA DEL MOTOR.	OHE
FALLA 9	09/11/2006	PARADO POR SOBREPRESIÓN.	PDE
FALLA 10	12/11/2006	PANEL NO MARCO NADA.	SPS
FALLA 11	17/11/2006	PARADO POR PROBLEMAS DE ENCENDIDO.	IHT
FALLA 12	30/11/2006	PARADO POR ALTA DESCARGA.	PDE
FALLA 13	01/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 14	04/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 15	05/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 16	07/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 17	07/12/2006	PASE DE ACEITE AL AGUA DE TK. AUXILIAR.	ELU
FALLA 18	08/12/2006	PARADO POR CAMBIO DE COOLER.	STD
FALLA 19	08/12/2006	PASE DE ACEITE AL AGUA DE TK. AUXILIAR.	ELU
FALLA 20	11/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 21	12/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 22	25/12/2006	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 23	29/12/2006	PARADO POR PSI DE DESCARGA.	PDE
FALLA 24	09/01/2007	PARADO POR ALTA. TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 25	14/01/2007	PARADO POR NIVEL DE AGUA.	PDE
FALLA 26	21/01/2007	PARADO POR ALTA TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 27	22/01/2007	PARADO PARA SOLDAR ESCALERA.	STD
FALLA 28	28/01/2007	TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 30	31/01/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 31	31/01/2007	TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 32	04/02/2007	TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 33	06/02/2007	TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 34	06/02/2007	TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 35	06/02/2007	TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 36	07/02/2007	TEMP. AGUA.	OHE
FALLA 37	07/02/2007	TEMP. DE AGUA.	OHE
FALLA 38	08/02/2007	TEMP. AGUA.	OHE
FALLA 39	09/02/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 40	09/02/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 41	09/02/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 42	09/02/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 43	11/02/2007	TEMP. AGUA	OHE

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>MOTIVO</b>	<b>CODIGO ISO</b>
FALLA 41	12/02/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 42	14/02/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 43	19/02/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	03/03/2007	SOBREPRESION.	PDE
FALLA	04/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	04/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	05/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	06/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	06/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	06/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	07/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	07/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	08/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	10/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	14/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	16/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	17/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	18/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	18/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	19/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	20/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	23/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	23/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	24/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA	24/03/2007	TEMP. AGUA	OHE
SUSPENSION	25/03/2007	BAJA VENTA	
FALLA	25/03/2007	TEMP. AGUA	OHE

### Anexo 13. Cuantificación de Perdidas por Paro “C1-ETA27” (2006)

Posición del Equipo	Fecha Parada	Hora Parada	Fecha Arranque	Hora Arranque	Capac. Real (MMSCFD)	Pérdidas Venta Gas (US\$)
C1-ETA27	10/09/2006	11:45:19	10/09/2006	12:15:19	0,95	30,5
C1-ETA27	21/09/2006	21:00:08	21/09/2006	22:00:08	0,95	61
C1-ETA27	22/09/2006	7:55:18	23/09/2006	12:35:18	0,95	1.748,30
C1-ETA27	11/10/2006	19:00:10	11/10/2006	20:30:10	0,95	95,3
C1-ETA27	17/10/2006	2:00:08	17/10/2006	8:00:08	0,95	381,1
C1-ETA27	19/10/2006	11:15:53	19/10/2006	12:15:53	0,95	63,5
C1-ETA27	25/10/2006	10:00:25	25/10/2006	11:30:25	0,95	95,3
C1-ETA27	28/10/2006	9:00:30	28/10/2006	23:00:30	0,95	889,2
C1-ETA27	09/11/2006	18:00:05	09/11/2006	19:00:05	0,95	62,4
C1-ETA27	12/11/2006	8:15:41	12/11/2006	9:15:41	0,95	62,4
C1-ETA27	17/11/2006	4:45:15	17/11/2006	6:15:15	0,95	93,6
C1-ETA27	30/11/2006	18:30:50	30/11/2006	21:00:50	0,95	156
C1-ETA27	01/12/2006	21:00:20	01/12/2006	22:00:20	0,95	62,6
C1-ETA27	04/12/2006	12:00:29	04/12/2006	13:00:29	0,95	62,6
C1-ETA27	05/12/2006	12:00:09	05/12/2006	13:00:09	0,95	61,9
C1-ETA27	07/12/2006	9:00:24	07/12/2006	9:30:24	0,95	31
C1-ETA27	07/12/2006	22:00:00	08/12/2006	8:00:00	0,95	619,5
C1-ETA27	08/12/2006	8:00:54	08/12/2006	17:00:54	0,95	557,5
C1-ETA27	08/12/2006	23:00:31	09/12/2006	8:00:31	0,95	557,5
C1-ETA27	11/12/2006	9:00:24	11/12/2006	10:00:24	0,95	61,9
C1-ETA27	12/12/2006	8:00:30	12/12/2006	10:00:30	0,95	123,9
C1-ETA27	25/12/2006	10:00:31	25/12/2006	10:45:31	0,95	46,5
C1-ETA27	29/12/2006	21:00:03	29/12/2006	22:00:03	0,95	61,9
C1-ETA27	09/01/2007	1:45:19	09/01/2007	2:45:19	0,95	61,4
C1-ETA27	14/01/2007	10:20:37	14/01/2007	11:50:37	0,95	92,1
C1-ETA27	21/01/2007	14:00:16	21/01/2007	15:00:16	0,95	61,4
C1-ETA27	22/01/2007	14:00:20	22/01/2007	15:00:20	0,95	61,4
C1-ETA27	28/01/2007	8:00:07	28/01/2007	9:35:07	0,95	97,1
C1-ETA27	31/01/2007	13:00:56	31/01/2007	14:30:56	0,95	92,1
C1-ETA27	31/01/2007	15:00:46	31/01/2007	16:30:46	0,95	92,1
C1-ETA27	04/02/2007	9:45:32	04/02/2007	10:30:32	0,95	45,2
C1-ETA27	06/02/2007	7:15:15	06/02/2007	8:30:15	0,95	75,4
C1-ETA27	06/02/2007	11:30:59	06/02/2007	11:50:59	0,95	19,9
C1-ETA27	06/02/2007	1:00:15	06/02/2007	2:00:15	0,95	60,3
C1-ETA27	07/02/2007	21:00:37	07/02/2007	22:00:37	0,95	60,3
C1-ETA27	07/02/2007	13:15:15	07/02/2007	17:30:15	0,95	256,3
C1-ETA27	08/02/2007	9:00:26	08/02/2007	10:00:26	0,95	60,3
C1-ETA27	09/02/2007	10:00:50	09/02/2007	11:50:50	0,95	110,4
C1-ETA27	09/02/2007	14:30:52	09/02/2007	15:30:52	0,95	60,3
C1-ETA27	09/02/2007	17:15:55	09/02/2007	17:50:55	0,95	35
C1-ETA27	09/02/2007	17:55:41	09/02/2007	18:05:41	0,95	10,3

<b>Posición del Equipo</b>	<b>Fecha Parada</b>	<b>Hora Parada</b>	<b>Fecha Arranque</b>	<b>Hora Arranque</b>	<b>Capac. Real (MMSCFD)</b>	<b>Pérdidas Venta Gas (US\$)</b>
C1-ETA27	11/02/2007	9:00:30	11/02/2007	10:00:30	0,95	60,3
C1-ETA27	12/02/2007	11:00:43	12/02/2007	11:25:43	0,95	25,3
C1-ETA27	14/02/2007	10:30:32	14/02/2007	11:00:32	0,95	30,2
C1-ETA27	19/02/2007	12:15:46	19/02/2007	12:45:46	0,95	30,2
C1-ETA27	03/03/2007	21:30:41	04/03/2007	0:30:41	0,95	178,6
C1-ETA27	04/03/2007	10:15:47	04/03/2007	10:40:48	0,95	25
C1-ETA27	04/03/2007	13:00:01	04/03/2007	13:30:01	0,95	29,8
C1-ETA27	05/03/2007	1:30:12	05/03/2007	2:30:12	0,95	59,5
C1-ETA27	06/03/2007	9:20:47	06/03/2007	10:15:47	0,95	54,8
C1-ETA27	06/03/2007	12:45:10	06/03/2007	13:00:10	0,95	14,9
C1-ETA27	06/03/2007	20:30:03	06/03/2007	20:45:03	0,95	14,9
C1-ETA27	07/03/2007	11:00:24	07/03/2007	11:35:24	0,95	34,5
C1-ETA27	07/03/2007	12:20:53	07/03/2007	13:30:53	0,95	69,7
C1-ETA27	08/03/2007	12:15:33	08/03/2007	12:30:33	0,95	14,9
C1-ETA27	10/03/2007	18:30:27	10/03/2007	20:30:27	0,95	119,1
C1-ETA27	14/03/2007	12:00:58	14/03/2007	12:30:58	0,95	29,8
C1-ETA27	16/03/2007	8:35:17	16/03/2007	9:15:17	0,95	39,9
C1-ETA27	17/03/2007	9:10:30	17/03/2007	9:30:30	0,95	19,7
C1-ETA27	18/03/2007	8:30:49	18/03/2007	8:50:50	0,95	19,7
C1-ETA27	18/03/2007	11:15:40	18/03/2007	11:50:40	0,95	34,5
C1-ETA27	19/03/2007	9:00:27	19/03/2007	10:00:27	0,95	59,5
C1-ETA27	20/03/2007	9:45:45	20/03/2007	10:45:45	0,95	59,5
C1-ETA27	23/03/2007	9:00:24	23/03/2007	9:30:24	0,95	29,8
C1-ETA27	23/03/2007	10:15:24	23/03/2007	10:45:24	0,95	29,8
C1-ETA27	24/03/2007	16:30:32	24/03/2007	17:00:32	0,95	29,8
C1-ETA27	24/03/2007	19:30:08	24/03/2007	21:00:08	0,95	89,3
C1-ETA27	25/03/2007	9:30:48	26/03/2007	8:55:48	0,95	1.394,60
C1-ETA27	25/03/2007	2:30:43	25/03/2007	4:00:43	0,95	89,3
<b>TOTAL</b>						<b>10023,6</b>

**Anexo 14. Modo de Fallas “C1-ETA27” (2007)**

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>MOTIVO</b>	<b>CODIGO ISO</b>
FALLA 1	25/05/2007	TEMP. CILINDRO #2	OHE
FALLA 2	26/05/2007	NIVEL DE AGUA	FTF
FALLA 3	27/05/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA, SCRUBBER	FTF
FALLA 4	01/06/2007	PANEL NO MARCO NADA	SPS
FALLA 5	02/06/2007	PANEL NO MARCO NADA	SPS
FALLA 6	02/06/2007	PANEL NO MARCO NADA	SPS
FALLA 7	02/06/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA	FTF
FALLA 8	03/06/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA	FTF
FALLA 9	06/06/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA	FTF
FALLA 10	09/06/2007	NIVEL DE AGUA	FTF
SUSPENSION	10/06/2007	CAMBIO DE VALVULA 6" EN LINEA DE SUCCION	
SUSPENSION	11/06/2007	PREVENTIVO DE 500 HORAS	
FALLA 11	15/06/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA	FTF
FALLA 12	16/06/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA	FTF
FALLA 13	09/07/2007	NIVEL DE LIQUIDOS EN INTER-ETAPA	FTF
FALLA 14	28/07/2007	SE TEMPLARON FAJAS DE COMPRESOR	PDE
FALLA 15	03/08/2007	LIQUIDOS EN LA INTERETAPA.	FTF
SUSPENSION	07/08/2007	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 1500 HORAS	
FALLA 16	29/08/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 17	30/08/2007	NIVEL DE ACEITE	FTF
FALLA 18	31/08/2007	NIVEL DE ACEITE	FTF
FALLA 19	03/09/2007	NIVEL DE LIQUIDOS SCRUBBER DESCARGA	FTF
FALLA 20	04/09/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 21	06/09/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 22	06/09/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 23	07/09/2007	SOBREVELOCIDAD	HIO
FALLA 24	07/09/2007	SOBREVELOCIDAD	HIO
FALLA 25	07/09/2007	SOBREVELOCIDAD	HIO
FALLA 26	07/09/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 27	18/09/2007	NIVEL DE LIQUIDOS EN DESCARGA	FTF
FALLA 28	20/09/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 29	28/09/2007	NIVEL DE LIQUIDOS SCRUBBER DE DESCARGA	FTF
FALLA 30	29/09/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 31	01/10/2007	TEMP. AGUA	OHE
SUSPENSION	02/10/2007	PREVENTIVO DE 3000 HRS.	
FALLA 32	07/10/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 33	07/10/2007	RECTIFICAR MAGNETO	FTF

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>MOTIVO</b>	<b>CODIGO ISO</b>
FALLA 34	09/10/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 35	19/10/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 36	19/10/2007	TEMP. AGUA	OHE
FALLA 37	19/10/2007	TEMPLAR FAJAS DEL VENTILADOR	PDE
FALLA 38	30/10/2007	NIVEL DE LIQUIDOS EN INTERETAPA	FTF
FALLA 39	30/10/2007	NIVEL DE LIQUIDOS EN INTERETAPA	FTF
FALLA 40	31/10/2007	ALTA DESCARGA	PDE
FALLA 41	31/10/2007	ALTA DESCARGA	PDE

**Anexo 15. Número de Orden de Falla “C1-ETA27” (2007)**

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>MOTIVO</b>	<b>ORDEN</b>
FALLA 1	25/05/2007	TEMP. CILINDRO #2	1
FALLA 2	26/05/2007	NIVEL DE AGUA	2
FALLA 3	27/05/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA, SCRUBBER	3
FALLA 4	01/06/2007	PANEL NO MARCO NADA	4
FALLA 5	02/06/2007	PANEL NO MARCO NADA	6
FALLA 6	02/06/2007	PANEL NO MARCO NADA	7
FALLA 7	02/06/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA	5
FALLA 8	03/06/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA	8
FALLA 9	06/06/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA	9
FALLA 10	09/06/2007	NIVEL DE AGUA	10
SUSPENSION	10/06/2007	CAMBIO DE VALVULA 6" EN LINEA DE SUCCION	
SUSPENSION	11/06/2007	PREVENTIVO DE 500 HORAS	
FALLA 11	15/06/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA	11,06
FALLA 12	16/06/2007	LIQUIDOS EN INTERETAPA	12,12
FALLA 13	09/07/2007	NIVEL DE LIQUIDOS EN INTER-ETAPA	13,18
FALLA 14	28/07/2007	SE TEMPLARON FAJAS DE COMPRESOR	14,24
FALLA 15	03/08/2007	LIQUIDOS EN LA INTERETAPA.	15,29
SUSPENSION	07/08/2007	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 1500 HORAS	
FALLA 16	29/08/2007	TEMP. AGUA	16,39
FALLA 17	30/08/2007	NIVEL DE ACEITE	17,49
FALLA 18	31/08/2007	NIVEL DE ACEITE	18,58
FALLA 19	03/09/2007	NIVEL DE LIQUIDOS SCRUBBER DESCARGA	19,68
FALLA 20	04/09/2007	TEMP. AGUA	20,78
FALLA 21	06/09/2007	TEMP. AGUA	21,87
FALLA 22	06/09/2007	TEMP. AGUA	22,97
FALLA 23	07/09/2007	SOBREVELOCIDAD	24,07
FALLA 24	07/09/2007	SOBREVELOCIDAD	25,16
FALLA 25	07/09/2007	SOBREVELOCIDAD	26,26
FALLA 26	07/09/2007	TEMP. AGUA	27,36
FALLA 27	18/09/2007	NIVEL DE LIQUIDOS EN DESCARGA	28,45
FALLA 28	20/09/2007	TEMP. AGUA	29,55
FALLA 29	28/09/2007	NIVEL DE LIQUIDOS SCRUBBER DE DESCARGA	30,65
FALLA 30	29/09/2007	TEMP. AGUA	31,74
FALLA 31	01/10/2007	TEMP. AGUA	32,84
SUSPENSION	02/10/2007	PREVENTIVO DE 3000 HRS.	
FALLA 32	07/10/2007	TEMP. AGUA	34,04
FALLA 33	07/10/2007	RECTIFICAR MAGNETO	35,23

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>MOTIVO</b>	<b>ORDEN</b>
FALLA 34	09/10/2007	TEMP. AGUA	36,43
FALLA 35	19/10/2007	TEMP. AGUA	37,63
FALLA 36	19/10/2007	TEMP. AGUA	38,82
FALLA 37	19/10/2007	TEMPLAR FAJAS DEL VENTILADOR	40,02
FALLA 38	30/10/2007	NIVEL DE LIQUIDOS EN INTERETAPA	41,21
FALLA 39	30/10/2007	NIVEL DE LIQUIDOS EN INTERETAPA	42,41
FALLA 40	31/10/2007	ALTA DESCARGA	43,61
FALLA 41	31/10/2007	ALTA DESCARGA	44,8

**Anexo 16.** Valores de Función de Distribución Acumulada “C1-ETA27” (2007)

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>TIEMPO DE FALLA</b>	<b>FUNCIÓN F (%)</b>
FALLA 1	25/05/2007	57	1,54
FALLA 2	26/05/2007	85	3,74
FALLA 3	27/05/2007	118	5,95
FALLA 4	01/06/2007	231	8,15
FALLA 5	02/06/2007	243	12,56
FALLA 6	02/06/2007	243,5	14,76
FALLA 7	02/06/2007	250	10,35
FALLA 8	03/06/2007	285	16,96
FALLA 9	06/06/2007	326	19,16
FALLA 10	09/06/2007	403	21,37
SUSPENSION	10/06/2007		
SUSPENSION	11/06/2007		
FALLA 11	15/06/2007	573	23,7
FALLA 12	16/06/2007	580,5	26,03
FALLA 13	09/07/2007	1144	28,36
FALLA 14	28/07/2007	1596,5	30,69
FALLA 15	03/08/2007	1741	33,03
SUSPENSION	07/08/2007		
FALLA 16	29/08/2007	2364,5	35,44
FALLA 17	30/08/2007	2384	37,86
FALLA 18	31/08/2007	2420	40,27
FALLA 19	03/09/2007	2473	42,69
FALLA 20	04/09/2007	2507	45,1
FALLA 21	06/09/2007	2549	47,52
FALLA 22	06/09/2007	2552	49,94
FALLA 23	07/09/2007	2570,5	52,35
FALLA 24	07/09/2007	2571	54,77
FALLA 25	07/09/2007	2572	57,18
FALLA 26	07/09/2007	2577	59,6
FALLA 27	18/09/2007	2842	62,01
FALLA 28	20/09/2007	2890	64,43
FALLA 29	28/09/2007	3073	66,84
FALLA 30	29/09/2007	3106	69,26
FALLA 31	01/10/2007	3156	71,67
SUSPENSION	02/10/2007		
FALLA 32	07/10/2007	3296	74,31
FALLA 33	07/10/2007	3301	76,94

<b>FALLA</b>	<b>FECHA</b>	<b>TIEMPO DE FALLA</b>	<b>FUNCIÓN F (%)</b>
FALLA 34	09/10/2007	3346	79,58
FALLA 35	19/10/2007	3604	82,22
FALLA 36	19/10/2007	3609	84,85
FALLA 37	19/10/2007	3615	87,49
FALLA 38	30/10/2007	3854	90,12
FALLA 39	30/10/2007	3855	92,76
FALLA 40	31/10/2007	3872	95,39
FALLA 41	31/10/2007	3884	98,03

**Anexo 17. Cuantificación de Perdidas por Paro “C1-ETA27” (2007)**

<b>Posición del Equipo</b>	<b>Fecha Parada</b>	<b>Hora Parada</b>	<b>Fecha Arranque</b>	<b>Hora Arranque</b>	<b>Capac. Real (MMSCFD)</b>	<b>Pérdidas Venta Gas (US\$)</b>
C1-ETA27	25/05/2007	9:00:24	25/05/2007	10:45:24	0,95	102,6
C1-ETA27	26/05/2007	13:45:14	26/05/2007	20:45:14	0,95	410,5
C1-ETA27	27/05/2007	22:00:00	27/05/2007	22:15:00	0,95	14,7
C1-ETA27	01/06/2007	15:30:00	01/06/2007	16:00:00	0,95	29,4
C1-ETA27	01/06/2007	15:30:00	01/06/2007	16:00:00	0,95	29,4
C1-ETA27	02/06/2007	10:50:54	02/06/2007	12:10:54	0,95	78,2
C1-ETA27	02/06/2007	3:00:16	02/06/2007	3:30:16	0,95	29,4
C1-ETA27	02/06/2007	3:40:45	02/06/2007	4:00:45	0,95	19,4
C1-ETA27	02/06/2007	3:00:16	02/06/2007	3:30:16	0,95	29,4
C1-ETA27	02/06/2007	3:40:45	02/06/2007	4:00:45	0,95	29,4
C1-ETA27	02/06/2007	10:50:54	02/06/2007	12:10:54	0,95	29,4
C1-ETA27	03/06/2007	21:00:45	04/06/2007	10:45:45	0,95	769,4
C1-ETA27	03/06/2007	21:00:45	04/06/2007	10:45:45	0,95	647,1
C1-ETA27	06/06/2007	14:00:36	06/06/2007	14:30:36	0,95	29,4
C1-ETA27	06/06/2007	14:00:36	06/06/2007	14:30:36	0,95	29,4
C1-ETA27	09/06/2007	19:00:47	09/06/2007	21:00:47	0,95	117,7
C1-ETA27	09/06/2007	19:00:47	09/06/2007	21:00:47	0,95	117,7
C1-ETA27	10/06/2007	7:00:05	10/06/2007	9:30:05	0,95	147,1
C1-ETA27	10/06/2007	7:00:05	10/06/2007	9:30:05	0,95	147,1
C1-ETA27	15/06/2007	21:00:19	15/06/2007	22:00:19	0,95	58,8
C1-ETA27	15/06/2007	21:00:19	15/06/2007	22:00:19	0,95	58,8
C1-ETA27	16/06/2007	4:30:11	16/06/2007	5:00:11	0,95	29,4
C1-ETA27	16/06/2007	4:30:11	16/06/2007	5:00:11	0,95	29,4
C1-ETA27	09/07/2007	16:00:53	09/07/2007	16:20:53	0,95	23,8
C1-ETA27	28/07/2007	12:30:44	28/07/2007	12:40:44	0,95	11,9
C1-ETA27	03/08/2007	13:05:50	03/08/2007	13:25:50	0,95	24,1
C1-ETA27	29/08/2007	10:30:21	29/08/2007	12:00:21	0,95	90,4
C1-ETA27	30/08/2007	8:00:01	30/08/2007	9:30:01	0,95	90,4
C1-ETA27	31/08/2007	20:00:31	31/08/2007	21:40:31	0,95	90,4
C1-ETA27	03/09/2007	1:15:51	03/09/2007	2:15:51	0,95	61
C1-ETA27	04/09/2007	11:00:49	04/09/2007	12:00:49	0,95	61
C1-ETA27	06/09/2007	5:45:45	06/09/2007	6:45:45	0,95	61
C1-ETA27	06/09/2007	8:30:18	06/09/2007	9:00:18	0,95	30,5
C1-ETA27	07/09/2007	2:30:48	07/09/2007	3:30:48	0,95	61
C1-ETA27	07/09/2007	3:45:24	07/09/2007	4:15:24	0,95	30,5
C1-ETA27	07/09/2007	4:45:00	07/09/2007	5:15:00	0,95	30,5
C1-ETA27	07/09/2007	9:00:16	07/09/2007	10:00:16	0,95	61
C1-ETA27	18/09/2007	10:10:04	18/09/2007	10:30:04	0,95	24,4

<b>Posición del Equipo</b>	<b>Fecha Parada</b>	<b>Hora Parada</b>	<b>Fecha Arranque</b>	<b>Hora Arranque</b>	<b>Capac. Real (MMSCFD)</b>	<b>Pérdidas Venta Gas (US\$)</b>
C1-ETA27	20/09/2007	10:00:10	20/09/2007	12:00:10	0,95	122
C1-ETA27	28/09/2007	1:00:09	28/09/2007	2:00:09	0,95	123,2
C1-ETA27	29/09/2007	10:00:47	29/09/2007	10:30:47	0,95	30,8
C1-ETA27	01/10/2007	9:00:41	01/10/2007	10:00:41	0,95	62,9
C1-ETA27	07/10/2007	8:00:17	07/10/2007	8:15:17	0,95	15,7
C1-ETA27	07/10/2007	13:00:12	07/10/2007	13:15:12	0,95	15,7
C1-ETA27	09/10/2007	10:00:11	09/10/2007	10:10:11	0,95	12,6
C1-ETA27	19/10/2007	4:30:45	19/10/2007	5:00:46	0,95	31,4
C1-ETA27	19/10/2007	9:00:49	19/10/2007	10:20:49	0,95	94,3
C1-ETA27	19/10/2007	15:55:49	19/10/2007	16:25:49	0,95	31,4
C1-ETA27	30/10/2007	14:00:27	30/10/2007	14:40:27	0,95	47,2
C1-ETA27	30/10/2007	15:00:44	30/10/2007	15:30:45	0,95	31,4
C1-ETA27	31/10/2007	8:50:13	31/10/2007	18:30:13	0,95	628,7
C1-ETA27	31/10/2007	20:00:53	31/10/2007	21:00:53	0,95	62,9
<b>TOTAL</b>						<b>5045,2</b>

**Anexo 18. Mantenimiento Típico de Motocompresor**

<b>Item</b>	<b>Servicio</b>	<b>Day/As Required</b>	<b>1000 Hours</b>	<b>2000 Hours</b>	<b>4000 Hours</b>	<b>8000 Hours</b>	<b>30000 Hours</b>
Operating Temperatures	Log Data	X					
Operating Pressures	Log Data	X					
Load & RPM	Log Data	X					
Air Breathers	Check Diferencial	X					
Water Level	Check	X					
Lube Oil Level	Check	X					
Gas Inyection System	Check	X					
Starter Lubricator	Check/Fill Fluid	X					
Force Feed Lubricator	Fill	X					
Leaks	Check/Repair	X					
Control Linkage	Lubricate	X					
Fuel Volume Tank	Drain Liquids	X					
Spark Plugs	Replace		X				
Ignition System	Check/Repair As Needed		X				
Cooler & Water Pump Drive Belts	Check		X				
Air Breathers	Clean/Replace Oil or Element		X				
Fuel System	Check/Adjust Pressure		X				
Mixer Valves	Check/Repair As Needed		X				
Gas Inyection System	Check/Repair As Needed		X				
Injection Valves	Grease		X				
Power Cylinder Heads	Retorque Head Studs		X				
Fan Shaft Bearings	Lubricate		X				
Auxiliary Water Pump	Lubricate Bearings		X				
Compressor Valves	Check/Record Temperature		X				
Scavaging Chambers	Check/Drain		X				
Scrubber Liquid Level Control	Check For Proper Operation		X				
Safety shutdowns	Test/Adjust			X			
Lube Oil	Analyse			X			
Magneto	Check Drive Coupling				X		
Cylinder Heads	Decarbon				X		
Power Piston	Decarbon Crown				X		
Power Cilynder	Decarbon Ports				X		
Cooler	Inspect Tube Fins (external)				X		
Crankcase Lubrication	Drain, Wipe Crankase, New Oil					X	
Rod & Main Bolts	Retorque					X	
Power Cylinders	Decarbon, Hone, Record I.D					X	
Power Pistons	Decarbon/Install W/New Rings					X	
Crossheads, Pins, Bushings, Etc.	Check/Record Clearances					X	

Item	Servicio	Day/As Required	1000 Hours	2000 Hours	4000 Hours	8000 Hours	30000 Hours
Jacket Water Thermostat	Test Elements					X	
Secondary Ignition Wires	Replace					X	
Magneto	Replace Packing					X	
Power-End Wiper Gland	Repair As Needed/Calibrated					X	
Gauges and Controls	Clean/Record I.D					X	
Compressor Cylinder Bores	Check OD/Install New Rings					X	
Compressor Pistons	Check OD/Rod Run-Out					X	
Compressor Pistons Rod	Replace Packing					X	
Pressure Valves	Replace Plates And Springs					X	
Auxiliary Water Pump	Repair As Needed					X	
Starter	Repair As Needed					X	
Anchor Bolts	Retorque					X	
Main Bearings	Check Clearance					X	
Rod Bearings	Check Clearance					X	
Gaskets & Seals	Replace						X
Rod Bearings	Replace						X
Main Bearings (sleeve type)	Replace						X
Main Bearings (roller type)	Check/Replace As Needed						X
Crosshead Pin Bushings	Replace						X
Crosshead Pins	Check/Replace As Needed						X
Wiper Glands	Rebuild Complete						X
Power Cylinders	Repair As Needed						X
Power Pistons	Replace As Needed						X
Gas Injection System	Rebuild Vlv, Pump, Actuator						X
Mixer Valves	Resurface & Replace All Pts.						X
Layshaft	Check & repair As needed						X
Muffler	Check/Clean As needed						X
Governor	Repair As Needed						X
Force Feed Lubricator	Repair As Needed						X
Compressor Cylinder Bores	Hone/Repair As Needed						X
Compressor Piston Rods	Repair/Replace As Needed						X
Packing Glands	Rebuild/New Packing						X
Compressor Valves	Rebuild/New Parts						X
VVP's	Repair As Needed						X
Compressor Piston	Clean/Replace W/New Rings						X
Auxiliary Water Pump	Rebuild						X
Belts	Replace						X
Scrubber Dump Valves & Pilots	Rebuild						X
Controls	Check/Repair/Replace As Req						X
Cooler	Rod-Out/Clean All Sections						X
Fan & Drivers	Check/Repair As Needed						X

